



PROJETO DE GRADUAÇÃO

IMPLEMENTAÇÃO DE UM MODELO DE FILAS ENVOLVENDO SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DO SISTEMA PORTUÁRIO

Por,

Alexandre Caldas Curley

Brasília, 2016

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

PROJETO DE GRADUAÇÃO
**IMPLEMENTAÇÃO DE UM MODELO DE
FILAS ENVOLVENDO SIMULAÇÃO PARA
ANÁLISE DO SISTEMA PORTUÁRIO**

POR,
Alexandre Caldas Curley.

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
Do grau de Engenheiro de Produção

Banca Examinadora

Prof. Ph.D. Reinaldo Crispiniano Garcia, UnB/EPR (Orientador) _____

Prof. Dr. Sérgio Ronaldo Granemann, UnB/EPR _____

Brasília, 05 de julho de 2016

Agradecimentos

Em primeiro lugar, e não poderia ser de outra forma, agradeço a meus pais, Henry e Sylvia, por sempre darem uma importância muito grande ao estudo. Meu pai, com suas frequentes chamadas para assistir a algum programa relacionado a megaconstruções de engenharia, quase sempre relacionadas a sistemas logísticos, certamente me influenciou na escolha deste tema. Sua preocupação em criar os filhos com uma visão realista sobre o mundo, mas ao mesmo tempo independentes e preparados para encarar os desafios sem dúvidas me fizeram enfrentar dificuldades de forma mais segura e vão me servir de exemplo para criar meus filhos. À minha mãe agradeço pelo carinho incessante (literalmente). Sua facilidade em encontrar risadas no dia a dia, diante de dores de cabeça que não dão trégua há anos, é surpreendente. Sua habilidade de se preocupar com os outros é algo que pouquíssimas vezes vi em minha vida. Nas vezes em que me senti exausto de trabalhar ao mesmo tempo em que lidava com um tema técnico e bastante demandante como projeto de graduação, pensava em como deve ter sido cursar o mestrado em Psicologia na UnB enquanto grávida e via que, sim, tem como ser muito mais difícil. Lamento que as reviravoltas da vida não a tenham deixado continuar sua caminhada na Psicologia, tenho certeza que teria sido uma excelente psicóloga. Agradeço também à minha irmã, Rebecca (a *Bele*), por sempre ter sido (e continuar sendo) uma irmãzona, sempre preocupada e cuidadosa com o irmão mais novo, mesmo quando eu não queria ou via necessidade. Apesar de termos visões de mundo bastante diferentes em alguns pontos, ela sempre me foi um exemplo de mulher determinada, que se formou e pós-graduou em áreas matemáticas, que poucos se arriscam. E hoje tem conquistado seu espaço em áreas, infelizmente, com poucas oportunidades para mulheres.

Agradeço especialmente também ao meu professor orientador, Reinaldo Garcia. Não consigo me recordar de outros professores universitários que eu tenha tido que conseguiram reunir uma excelente didática, um reconhecido conhecimento técnico, um cuidado quase personalizado com os alunos e uma preocupação em fazer a coisa certa. E aqui incluo meu período na Ciência da Computação e minha experiência na *Georgia Tech*, universidade constantemente posicionada entre as três melhores em Engenharia Industrial nos Estados Unidos. Acredito que devemos agradecer e mostrar reconhecimento às pessoas que nos ajudam e impulsionam em nossa caminhada, por isso sei que ele deve ter tido pessoas assim em sua vida também. Espero poder fazer isso para outros no futuro.

Reservo aqui também agradecimentos especiais aos amigos. Como já dizia o texto “*Loucos e Santos*”, de autoria não confirmada, “...tenho amigos para saber quem eu sou.”. E eu, felizmente, posso dizer que tenho amigos assim. Ainda na temática de professores, considero-me um felizardo de ter dois professores meus de ensino médio como dois de meus melhores amigos. Agradeço ao meu grande amigo Ronaldo Nobre pelas inúmeras conversas inquietantes, filosóficas... humanas! Conheci poucas pessoas com tamanha habilidade de provocar reflexões em alguém de forma tão natural e lúdica como meu querido antigo professor de Matemática. Sou muito grato também ao Felipe Tourinho (o *Pequeno Touro*), meu antigo professor de Física, mas que brinco que foi o

que o que ele menos me ensinou na vida (apesar de ser um excepcional professor na área). São tantos *Beirutes* na conta que não me arrisco a colocar um número, mas me são definitivamente essenciais. Além de grande exemplo de pessoa sensata, justa, honesta e humana, o Tourinho é para mim um grande exemplo de pai e amigo para qualquer hora *mesmo*. Agradeço também ao meu amigo há mais de década, Daniel Castro (o *Pomps*), com quem compartilhei os grandes momentos da fase de adolescência e início de vida adulta e com quem tive (e tenho) os maiores momentos de nostalgia. Pomps será sempre um irmão para mim. Não posso deixar de mencionar também meu grande amigo Mayllon Miranda (o *Zé*), um outro irmão para mim e futuro colega de profissão. Com ele convivi quase diariamente durante meu período na UnB, e não acho que eu tenha visto alguém com tanta segurança e conhecimentos diversos como ele. E desde novo. A amizade com ele sempre foi fácil e vasta. Finalizo esta seção agradecendo ao meu amigo Leonardo Abecassis (o *Lelé*), que apareceu em minha vida há menos tempo que os anteriores, mas que rapidamente se tornou especial. Com Lelé dei algumas de minhas maiores risadas, mas também foi ele um dos grandes responsáveis pelo meu crescimento como pessoa. Lelé foi um dos que mais me fez refletir, repensar conceitos, rever atitudes, reconhecer privilégios, trabalhar a consciência e sensibilidade e combater preconceitos. Não ousou continuar citando aqui todos que me são muito caros pelo receio de que a memória não acompanhe o sentimento e alguém acabe ficando no esquecimento injusto. Não reconhecer os citados acima, entretanto, seria uma injustiça ainda maior.

Guardado para o final, deixo um agradecimento especial à minha namorada linda, Mariana, que apareceu de repente, em um grande exemplo dos caprichos do acaso. Com ela tenho momentos metade de bobeira, metade de seriedade, mas sempre completos. Agradeço pelo carinho, pelas risadas até chorar e pelo aprendizado. É bastante prazeroso poder acompanhar e participar de seu crescimento. E aqui finalizo agradecendo às pessoas que de alguma forma me ajudaram, seja de forma direta ou de outras que não consigo enxergar nitidamente, para que eu chegasse onde cheguei. Espero continuar tendo muito o que agradecer.

Alexandre Caldas Curley

It's not about how to achieve your dreams, it's about how to lead your life. If you lead your life the right way, the karma will take care of itself, the dreams will come to you

(Randy Pausch)

RESUMO

Este estudo buscou simular um sistema de filas que represente o fluxo de caminhões para escoamento da produção de grãos sólidos vegetais através do Porto de Santos, desde a chegada nos pátios reguladores até a saída dos terminais portuários, após descarregamento. Para tal, foram analisados os dados reais de movimentação de caminhões no Porto de Santos durante o ano de 2014, a partir dos quais foram estimados os parâmetros necessários para a realização das simulações do sistema de filas. Ao final, a partir dos parâmetros de desempenho do sistema de filas, o presente estudo buscou estimar os custos de transporte de grãos sólidos vegetais do estado de Mato Grosso ao Porto de Santos para o estado atual do sistema portuário (em que o terminal portuário analisado conta com três tombadores para atendimento aos caminhões) e para cenários que consideram investimentos que melhoram os tempos de serviço aos caminhões no terminal portuário analisado, representados pela instalação de tombadores adicionais.

Palavras-chave: Sistema Portuário. Custos Logísticos. Sistema de Filas. Grãos Sólidos Vegetais. Pátio Regulador. Terminal Portuário.

ABSTRACT

This study simulates a queueing system that represents the flow of trucks, transporting agricultural dry bulk, to the Port of Santos, from the arrival at the control parking areas to the exit, after unloading, at the port terminals. For this purpose, actual truck movement data from 2014 were used to establish the parameters required for the system simulation. Finally, using the performance parameters of the queueing system, this study estimated the costs associated with transporting agricultural dry bulk from the state of Mato Grosso to the Port of Santos for the current port system state (in which a port terminal has three truck dumpers for service) and for other scenarios, which consider investments that improve truck service times in the port terminal in question, represented by the installation of additional truck dumpers.

Keywords: Port System. Logistics Costs. Queueing System. Agricultural Dry Bulk. Control Parking Area. Port Terminal.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 PERSPECTIVA MACROECONÔMICA	13
2 CONTEXTO	16
2.1 LOGÍSTICA E CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	16
2.2 CUSTOS LOGÍSTICOS	16
2.2.1 GLOBAL COMPETITIVENESS INDEX (GCI).....	18
2.2.2 LOGISTICS PERFORMANCE INDEX (LPI).....	21
2.3 O PORTO DE SANTOS	24
2.3.1 CARACTERIZAÇÃO.....	24
2.3.2 RELEVÂNCIA.....	24
2.3.3 GRANÉIS SÓLIDOS VEGETAIS	26
2.4 OBJETIVO	30
3 REFERENCIAL TEÓRICO	32
3.1 MODELAGEM DE SISTEMAS	32
3.2 TEORIA DAS FILAS	33
3.2.1 ELEMENTOS DE UM MODELO DE FILAS	33
3.2.1.1 PADRÃO DE CHEGADAS.....	34
3.2.1.2 PADRÃO DE SERVIÇO.....	34
3.2.1.3 DISCIPLINA DA FILA	34
3.2.1.4 CAPACIDADE DO SISTEMA.....	35
3.2.1.5 NÚMERO DE CANAIS DE SERVIÇO.....	35
3.2.1.6 NÚMERO DE ETAPAS DE SERVIÇO.....	35
3.2.2 REPRESENTAÇÃO DE UM PROCESSO DE FILAS	36
3.3 SOFTWARE MATLAB.....	39
4 METODOLOGIA.....	40
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA METODOLOGIA DE PESQUISA	40
4.2 ETAPAS DO TRABALHO	41
4.2.1 DEFINIÇÃO DO PERÍODO ANALISADO.....	41

4.2.2	VALIDAÇÃO DOS DADOS.....	43
4.2.3	DEFINIÇÃO DO TERMINAL PORTUÁRIO ANALISADO	45
4.2.4	IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS RELEVANTES ÀS SIMULAÇÕES	46
4.2.4.1	IDENTIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO QUE REGULA OS TEMPOS ENTRE CHEGADAS AO PÁTIO REGULADOR	46
4.2.4.2	IDENTIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO QUE REGULA OS TEMPOS DE SERVIÇO NO TERMINAL PORTUÁRIO	47
4.2.4.3	IDENTIFICAÇÃO DE OUTROS PARÂMETROS RELEVANTES À SIMULAÇÃO	48
5	MODELO RODOPARK-TEG	50
5.1	VISÃO GERAL	50
5.2	SIMULAÇÃO PARA O CENÁRIO ATUAL	52
5.2.1	MODELAGEM DO PÁTIO REGULADOR	52
5.2.2	MODELAGEM DO TERMINAL PORTUÁRIO	53
5.2.3	DESEMPENHO DO SISTEMA NA MODELAGEM DA SITUAÇÃO ATUAL	54
5.3	SIMULAÇÃO PARA O CENÁRIO COM 4 TOMBADORES	57
5.4	ESTIMATIVA DOS CUSTOS DE TRANSPORTE ASSOCIADOS	60
5.4.1	ANÁLISE DOS CUSTOS PARA A SIMULAÇÃO COM TRÊS TOMBADORES (CENÁRIO ATUAL).....	62
5.4.2	ANÁLISE DOS CUSTOS PARA A SIMULAÇÃO COM QUATRO TOMBADORES (CENÁRIO COM MELHORIA)	63
5.4.3	ANÁLISE DO INVESTIMENTO NECESSÁRIO PARA REDUZIR O TEMPO DE SERVIÇO NO TERMINAL PORTUÁRIO AO PADRÃO ENCONTRADO EM PAÍSES DE REFERÊNCIA	64
6	CONCLUSÃO	67
6.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
	APÊNDICES	75
	APÊNDICE I: CÓDIGO DO SISTEMA DE FILAS RODOPARK – TEG.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Crescimento do PIB da China e do Brasil entre 2000 e 2015.	14
Figura 2 – Participação nas exportações brasileiras de produtos de acordo com intensidade tecnológica.	14
Figura 3 – Desempenho detalhado do Brasil, Estados Unidos e Argentina em indicadores do pilar de Infraestrutura.	20
Figura 4 – Pontuações do Brasil, Estados Unidos e Argentina no índice internacional (<i>International LPI</i>).	22
Figura 5 – Evolução da movimentação de cargas nos principais portos brasileiros.....	25
Figura 6 – Participação do Porto de Santos na exportação de algumas das principais commodities agrícolas.	25
Figura 7 – Pátios reguladores do Porto de Santos.	26
Figura 8 – Vista panorâmica do Ecopátio.	27
Figura 9 – Vista panorâmica do Rodopark.	27
Figura 10 – Terminais do Complexo Portuário de Santos.....	28
Figura 11 – Zoneamento do Cais de Outeirinhos.....	29
Figura 12 – Zoneamento do Corredor de Exportação.....	29
Figura 13 – Zoneamento dos Terminais de Granéis Sólidos de Conceiçãozinha	30
Figura 14 – Representação do problema de pesquisa	31
Figura 15 – Tipos de sistemas.	32
Figura 16 – Representação típica de um processo de filas.....	33
Figura 17 – Sistemas de fila com multicanais de serviço.	35
Figura 18 – Sistema de fila com diversas etapas de serviço.	36
Figura 19 – Diagrama de fluxo acumulado.	36
Figura 20 – Fluxo esquemático de clientes através de um sistema de filas em série	37
Figura 21 – Representação gráfica de filas em série	38
Figura 22 - Etapas do trabalho.	41
Figura 23 – Chegadas de caminhões aos Pátios Reguladores em 2014 (dados originais) 42	
Figura 24 – Exportação de granéis sólidos pelo Porto de Santos em 2014	42
Figura 25 – Distribuição para o tempo entre chegadas ao Rodopark.....	46
Figura 26 – Distribuição para o tempo de serviço no TEG.....	48
Figura 27 – Diagrama de chegadas e saídas acumuladas (1 repetição)	51
Figura 28 - Diagrama de chegadas e saídas acumuladas (3 repetições)	51
Figura 29 – Número médio de caminhões no pátio regulador, em trânsito e no terminal portuário	55
Figura 30 – Número médio de caminhões na fila (L_q) e no sistema (L)	55

Figura 31 – Tempo médio de permanência no pátio regulador, em trânsito e no terminal portuário	56
Figura 32 – Tempo médio de permanência na fila (W_q) e no sistema (W)	56
Figura 33 - Diagrama de chegadas e saídas acumuladas (média de 91 repetições, 3 tombadores)	57
Figura 34 - Número médio de caminhões no pátio regulador, em trânsito e no terminal portuário	58
Figura 35 - Número médio de caminhões na fila (L_q) e no sistema (L)	58
Figura 36 - Tempo médio de permanência no pátio regulador, em trânsito e no terminal portuário	59
Figura 37 - Tempo médio de permanência na fila (W_q) e no sistema (W).....	59
Figura 38 - Diagrama de chegadas e saídas acumuladas (média de 91 repetições, 4 tombadores)	59
Figura 39 – Tempos de permanência no terminal portuário (abril 2016)	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pontuação brasileira no GCI 2015-2016.....	19
Tabela 2 - Detalhamento da pontuação do Brasil no pilar Infraestrutura	20
Tabela 3 – Pontuações e posições do Brasil, Estados Unidos e Argentina no índice internacional (<i>International LPI</i>)	21
Tabela 4 – Parâmetros de desempenho logístico do Brasil, Estados Unidos e Argentina no índice doméstico (<i>Domestic LPI</i>).....	23
Tabela 5 – Comparativo das capacidades dos pátios reguladores	27
Tabela 6 – Dados obtidos após validações da etapa 2.....	45
Tabela 7 – Chegadas ao Rodopark por faixa de horário.....	47
Tabela 8 – Distribuições para tempo de pátio e trânsito por faixa horária.	49
Tabela 9 - Parâmetros de desempenho do sistema com 3 e 4 tombadores	60
Tabela 10 – Preço (R\$/ton.) do frete para diferentes datas e custos médios.....	61
Tabela 11 – Tempo médio de trânsito	61
Tabela 12 – Participação da soja e do estado de Mato Grosso nas exportações pelo Porto de Santos.....	61
Tabela 13 – Infraestrutura de armazenagem do TEG.....	64
Tabela 14 – Capacidades e distribuições de tempo de serviço para vários números de tombadores	65
Tabela 15 - Parâmetros de desempenho do sistema com 5 e 6 tombadores	65
Tabela 16 – Sínteses dos resultados das simulações	68

LISTA DE SÍMBOLOS

Siglas

ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
GCI	Global Competitiveness Index
CODESP	Companhia Docas do Estado de São Paulo
L	Número médio de clientes presentes no Sistema de filas
LPI	Logistics Performance Index
Lq	Número médio de clientes esperando na fila
PIL	Programa de Investimento em Logística
SEP	Secretaria de Portos da Presidência da República
TEG	Terminal Exportador do Guarujá
W	Tempo médio de permanência no Sistema de filas
Wq	Tempo médio de permanência na fila

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma introdução a respeito da importância das commodities para a economia brasileira, que possibilitaram crescimentos robustos do PIB do Brasil entre a segunda metade dos anos 2000 e os primeiros anos da década de 2010, período conhecido como “boom das commodities”. Além disso, aborda também iniciativas recentes do governo voltadas à modernização da infraestrutura logística do país, por meio de parcerias com o setor privado.

1.1 PERSPECTIVA MACROECONÔMICA

O Brasil utiliza a classificação por fator agregado para as análises de seu comércio exterior, que separa os produtos em três classes, levando-se em consideração o nível de transformação ou agregação de valor que o produto sofre ao longo de seu processo produtivo. Dessa forma, as mercadorias podem ser classificadas como: produtos básicos (aqueles com baixo grau de transformação, mantendo suas características praticamente originais, como minério de ferro, petróleo e soja), produtos semifaturados (que apresentam certo grau de transformação, mas ainda requerem outros processos produtivos, como celulose, borracha sintética e cacau em pó) e produtos manufaturados (aqueles em seu estágio final de transformação, como aviões, calçados e motores).

Historicamente, a pauta exportadora brasileira possui forte presença de produtos básicos, como minério de ferro, petróleo e grãos em geral. Analisando-se as séries históricas de exportações do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), os produtos básicos chegaram a compor, em média, cerca de 60% das exportações nacionais na década de 1970, seguindo duas décadas em queda, com 26% nos anos 1990, e, por fim, novo crescimento a partir dos anos 2000 (30% na primeira década e 47% de 2010 a 2014) (BRASIL, 2015). Estes crescimentos foram fortemente impulsionados pela valorização das commodities no mercado internacional.

O Brasil foi um dos maiores beneficiados pelo famoso “boom das commodities”, período que pode ser compreendido entre 2000 e 2014, no qual o crescimento da China impulsionou o desenvolvimento das exportações de diversos países. Negri e Alvarenga (2011) apontam que países como a China e a Índia encontravam-se àquela época em grande processo de urbanização, mas não apresentavam autossuficiência na produção de alimento e energia para sustentar tal crescimento, promovendo então significativo aumento dos preços internacionais das commodities. Durante esse período, verificou-se crescimento robusto da economia brasileira, assim como redução dos níveis de pobreza (pela primeira vez, em 2014, o Brasil não constou no Mapa da Fome da ONU) e inchaço da classe média. Nem os impactos da crise de 2008 abalaram o desempenho do Brasil, que se apoiou no cenário externo positivo para suas commodities, promoveu redução dos juros básicos e incentivou a produção e o consumo

através da ampliação dos investimentos públicos para minimizar os efeitos da crise. Além disso, desde os anos 1990 a participação das commodities nas exportações brasileiras oscila ao redor dos 40%. Entre 2007 e 2010, esta participação subiu 10 pontos percentuais (p.p.), chegando a 51% das exportações brasileiras (NEGRI; ALVARENGA, 2011).

As Figuras (1) e (2) ilustram os pontos supracitados, em que se apresenta a evolução do PIB do Brasil e da China no período entre 2000-2015, ajustados a valores constantes do dólar americano de 2005, e a participação das commodities nas exportações brasileiras no período entre 2000-2010, respectivamente.

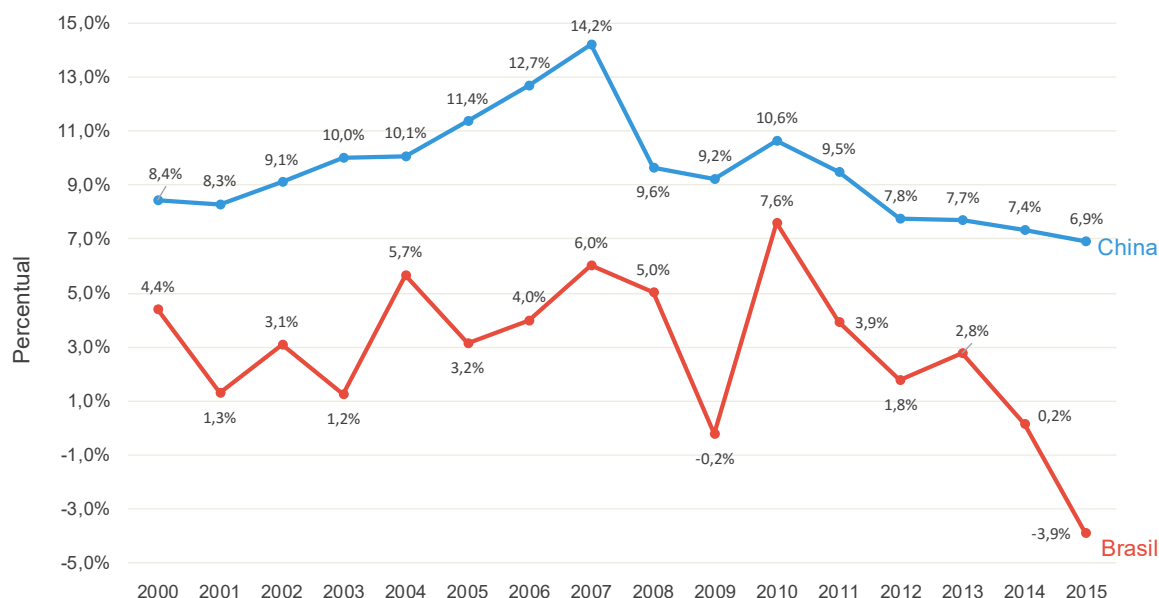


Figura 1 – Crescimento do PIB da China e do Brasil entre 2000 e 2015.

Fonte: Banco Mundial (2016) e OCDE (2016).

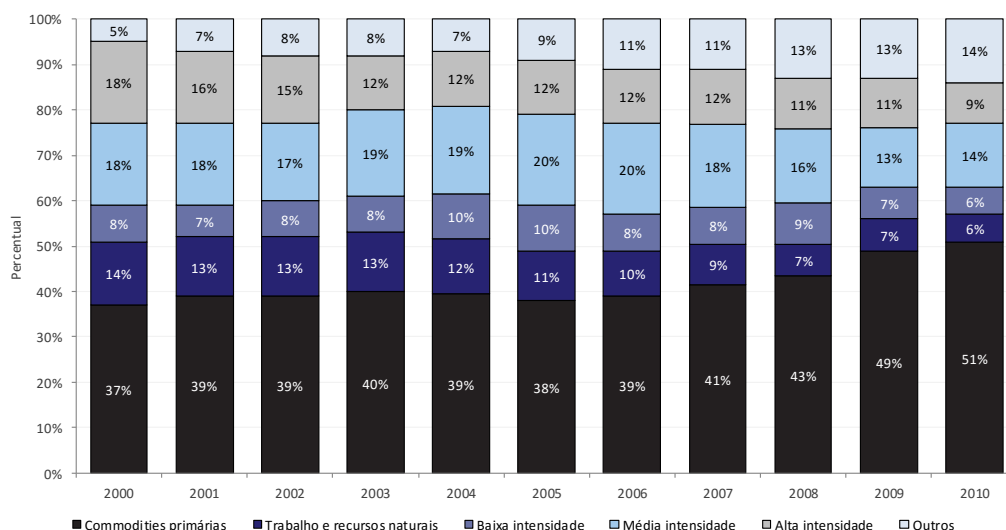


Figura 2 – Participação nas exportações brasileiras de produtos de acordo com intensidade tecnológica.

Fonte: Ipea (2011)

Como as commodities são produtos primários, agrícolas ou minerais, com pouco grau de industrialização e de qualidade praticamente uniforme, elas são negociadas globalmente em bolsas, com preços determinados a partir da interação global entre oferta e demanda. Isso faz com que a eficiência no processo como um todo seja um fator crucial para a rentabilidade dos envolvidos na cadeia produtiva das commodities, sendo que os diversos gargalos logísticos representam custos para os produtores. Uma vez que o Brasil é um destes países com vários gargalos logísticos, ele perde competitividade, pois compradores podem procurar outros países fornecedores de commodities, devido às dificuldades brasileiras de atender a demanda em tempo hábil.

Com o intuito de promover melhorias na infraestrutura logística brasileira, foi lançado em 2012 o Programa de Investimento em Logística (PIL), que prevê investimentos em rodovias, aeroportos, ferrovias e portos brasileiros, através de parcerias com o setor privado. Os investimentos portuários, área foco desse trabalho, incluem, entre outras iniciativas, reorganização dos portos e licitações em busca de maior capacidade de movimentação e redução de tempo de movimentação.

Com o intuito de explorar em maior detalhamento a temática de exportação de commodities agrícolas, a estrutura desse trabalho é dividida em cinco capítulos. O capítulo 1 introduz rapidamente o tema proposto com uma visão geral, trazendo a importância das commodities para a economia brasileira e a necessidade de se modernizar a infraestrutura logística brasileira, que motivou a criação do Programa de Investimento em Logística.

O capítulo 2 traz uma contextualização dos tópicos a serem abordados no trabalho, com uma análise mais específica de indicadores de desempenho logístico brasileiro, caracterização e relevância do Porto de Santos para as exportações brasileiras. Além disso, há a descrição das etapas do fluxo de caminhões no porto, desde a chegada através dos pátios reguladores até o serviço em si nos terminais portuários.

O capítulo 3 apresenta o arcabouço teórico necessário para as análises propostas no trabalho, com uma revisão da literatura concernente ao tema e definição de conceitos, técnicas e ferramentas utilizadas para as análises.

O capítulo 4 descreve a aplicação da teoria apresentada no capítulo 3 para analisar o fluxo de caminhões no Porto de Santos, apresentando os dados que serviram de insumo para a definição dos parâmetros necessários às simulações, assim como a descrição das etapas de análises utilizadas, desde a obtenção dos dados até o atingimento do objetivo proposto pelo trabalho. O capítulo 5 apresenta o processo utilizado para realizar as simulações do modelo de filas para alguns cenários. O código utilizado nas simulações encontra-se disponível no Apêndice I.

Por fim, o capítulo 6 apresenta as principais conclusões do trabalho, assim como sugestões para trabalhos futuros.

2 CONTEXTO

Este capítulo tem como objetivo contextualizar o ambiente de desenvolvimento deste trabalho, abordando os conceitos de logística, cadeia de suprimentos e custos logísticos. As classificações do Brasil com relação a sua infraestrutura logística em índices especializados internacionais como o Global Competitiveness Index, do Fórum Econômico Mundial, e o Logistics Performance Index, do Banco Mundial também são apresentadas. Por fim, apresenta-se uma contextualização do Porto de Santos e o seu papel como grande porto exportador brasileiro de commodities agrícolas.

2.1 LOGÍSTICA E CADEIA DE SUPRIMENTOS

De acordo com Waters (2003), logística diz respeito ao fluxo de materiais dos fornecedores para uma organização, às movimentações dentro das operações internas da organização e, finalmente, à distribuição para os clientes finais. Já a cadeia de suprimentos é formada por todas as partes envolvidas, de forma direta ou indireta, no atendimento do pedido do cliente, incluindo fornecedores, fabricantes e os próprios consumidores (CHOPRA, 2007).

Entretanto, os conceitos de logística de cadeia de suprimentos apresentaram com frequência ao longo de seu desenvolvimento conflito de definições, o que levou o Conselho de Profissionais de Gestão da Cadeia de Suprimentos (do inglês *Council of Supply Chain Management Professionals*), principal associação de profissionais da área, a fornecer as definições formais dos termos mais aceitas atualmente. De acordo com a organização, a gestão logística envolve a parcela da gestão da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla o fluxo, para frente e reverso, e o armazenamento de bens, serviços e informações, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, de modo a atender as necessidades do consumidor (CSCMP, 2013). Já a cadeia de suprimentos engloba o planejamento e gerenciamento de todas as atividades envolvidas na aquisição, conversão e atividades de logística, incluindo ainda a coordenação e colaboração com parceiros (que podem ser fornecedores, operadores logísticos ou clientes) (CSCMP, 2013).

2.2 CUSTOS LOGÍSTICOS

Os custos envolvidos na movimentação de bens ao longo das cadeias de suprimentos são diversos e seus níveis dependem do tipo de indústria. De forma geral, pode-se dividir os custos logísticos em três grandes grupos, divididos em subgrupos de acordo com as especificidades:

- **Custos de transporte** (*transportation costs*): representam os custos incorridos na movimentação de estoques, em diversos estados de transformação, incluindo custos de transporte nos seus diversos modos: rodoviário, ferroviário, aquaviário, aéreo, dutos, entre outros (WILSON, 2009).
- **Custos de manutenção de estoque** (*inventory carrying costs*): diz respeito aos custos totais com estoques, estejam eles em um armazém ou em contêineres. O custo total de estoques engloba custos de oportunidade do capital investido nos estoques, depreciação, obsolescência, impostos e seguros, além dos custos para armazenagem, como aluguel (WILSON, 2009). Usualmente, os custos de estoque são estimados como um valor percentual dos bens produzidos com base em alguma unidade temporal, como por exemplo, reais por unidade por ano (NAHMIAS, 2005).
- **Custos administrativos** (*administrative costs*): englobam custos não diretamente relacionados aos dois anteriores, como custos com funcionários, atividades complementares realizadas por provedores logísticos (como carregamento e descarregamento de equipamentos), entre outros (WILSON, 2009).

Para Ballou (2004), o transporte e a manutenção dos estoques são as atividades logísticas com maior participação nos custos. Em 2014, os custos logísticos nos Estados Unidos representaram cerca de 8,3% do seu Produto Interno Bruto (PIB), em torno de US\$ 1,45 trilhão, com os custos de estoque englobando ao redor de 33% desse valor e os custos de transporte acumulando aproximadamente 48% do montante total (CSCMP, 2015). Para países da América Latina e Caribe, os custos logísticos representam entre 16% e 26% do PIB (GUASCH, 2011).

Segundo Guasch (2011), as maiores fontes de custos logísticos para os países da América Latina e Caribe correspondem à infraestrutura física para escoamento deficiente, isto é, portos, aeroportos, rodovias e ferrovias, e a serviços associados, como taxas e licenças, operadores multimodais, terminais logísticos, hubs e serviços de silo, entre outros. Ainda segundo o autor, é essencial que uma vantagem competitiva adquirida na produção de um bem não seja corroída pelos custos de se movimentá-lo até seu destino final, utilizando-se um sistema logístico não confiável e custoso (GUASCH, 2011).

Esse é o caso da soja, por exemplo, que frequentemente tem Brasil e Estados Unidos alternando entre primeiro e segundo maiores produtores. Em 2014, o Brasil foi responsável por 30,56% da produção total mundial, enquanto que os Estados Unidos foram responsáveis pela produção de 32,21% e a Argentina por 19,03% (com o restante vindo da China, com 4,3% e outros países não identificados, com 13,9%) (EMBRAPA, 2015). A produtividade do Brasil no plantio e colheita da soja, ainda de acordo com a Embrapa, foi de 3.011 kg/ha, enquanto que a produtividade dos Estados Unidos foi de 3.213 kg/ha, ambos para a safra 2014-2015.

Apesar de Brasil e Estados Unidos travarem uma batalha acirrada no que tange à produção e produtividade da soja, os EUA possuem um desempenho no escoamento dessa produção significativamente superior, tornando a produção e comercialização da commodity mais lucrativa para

os Estados Unidos. Por possuir naturalmente um baixo valor agregado (com um baixo *value to weight ratio*, que é o indicador que mensura o valor financeiro por quilograma de um bem), e tradicionalmente ser transportada em grandes quantidades e por grandes distâncias, os modos de transporte hidroviário e ferroviário se configuram como os mais apropriados para o transporte da soja em granel, uma vez que uma composição de trem, por exemplo, consegue transportar uma carga equivalente à carga de 160 caminhões (REVISTA GLOBO RURAL, 2012).

O transporte da soja no Brasil está longe de ser otimizado. De acordo com Fliehr (2013), 60% do escoamento da soja brasileira se dá por meio de rodovias, 33% por ferrovias e apenas 7% é escoado para os portos através de hidrovias. No caso dos Estados Unidos, ainda de acordo com a autora, a configuração se altera para 16% de participação rodoviária, 23% ferroviária e a maior parte ocorre através de hidrovias (61%). Essa disparidade entre as modalidades é um dos grandes fatores que explicam a maior rentabilidade da produção de soja nos Estados Unidos do que no Brasil, uma vez que, no caso brasileiro, para certos fluxos de cargas e condicionantes, fretes ferroviários e hidroviários chegariam a ser 37% e 62% mais baratos, respectivamente, que o transporte pelo modo rodoviário (RIPOLL, 2010).

Apesar de sua relevância, os custos logísticos não se encontram devidamente abordados na literatura (FARAHANI, 2009). De acordo com Rantasila e Ojala (2012), os melhores exemplos de indicadores incluem o *Global Competitiveness Index* (GCI) e o *Logistics Performance Index* (LPI), sendo o primeiro desenvolvido pelo Fórum Econômico Mundial, enquanto o segundo é de publicação do Banco Mundial.

2.2.1 Global Competitiveness Index (GCI)

Este índice avalia o quão produtivamente os países utilizam seus recursos disponíveis, englobando fatores políticos, econômicos, legais, de inovação e ambiente de negócios, entre outros, através de uma pontuação numa escala de 1 a 7 (sendo 7 o melhor). O último relatório elaborado pelo Fórum Econômico Mundial, *Global Competitiveness Report 2015-2016*, avaliou o panorama de competitividade de 140 países, trazendo informações a respeito da prosperidade dessas economias de acordo com diversos critérios. A pontuação global de cada país no índice é mensurada a partir de doze pilares, distribuídos em três grandes grupos: requisitos básicos (avaliado a partir das instituições, infraestrutura, ambiente macroeconômico e saúde e educação primária); propulsores de eficiência (englobando educação de nível superior e treinamento, eficiência do mercado de bens, eficiência do mercado de trabalho, sofisticação do mercado financeiro, prontidão tecnológica e tamanho de mercado); e inovação e sofisticação empresarial (que incorpora sofisticação de negócios e inovação). O relatório de 2015-2016 aponta que o Brasil permanece com uma tendência decrescente, caindo 18 posições (ocupava a 57ª colocação no relatório de 2014-2015) e possuindo desempenho irregular ao longo dos pilares de avaliação, com excelente tamanho de mercado e um nível relativamente alto de prontidão tecnológica, mas com péssimos resultados em quesitos como inflação, corrupção e déficit fiscal (FÓRUM ECONÔMICO

MUNDIAL, 2015). A Tabela (1) a seguir apresenta a pontuação atribuída ao Brasil em cada pilar de avaliação no relatório do Fórum Econômico Mundial 2015-2016.

Tabela 1 – Pontuação brasileira no GCI 2015-2016

Global Competitiveness Index

	Posição	Pontuação (1 - 7)
GCI 2015 - 2016 (de 140)	75	4.1
GCI 2014 - 2015 (de 144)	57	4.3
GCI 2013 - 2014 (de 148)	56	4.3
GCI 2012 - 2013 (de 144)	48	4.4
Requisitos básicos (<i>basic requirements</i>) - 33.5%	103	4.1
1º pilar: Instituições	121	3.2
2º pilar: Infraestrutura	74	3.9
3º pilar: Ambiente macroeconômico	117	4.0
4º pilar: Saúde e educação primária	103	5.1
Propulsores de eficiência (<i>efficiency enhancers</i>) - 50.0%	55	4.2
5º pilar: Educação e treinamento superior	93	3.8
6º pilar: Eficiência do mercado de bens	128	3.7
7º pilar: Eficiência do mercado de trabalho	122	3.7
8º pilar: Sofisticação do mercado financeiro	58	4.0
9º pilar: Prontidão tecnológica	54	4.4
10º pilar: Tamanho de mercado	7	5.8
Fatores de inovação e sofisticação (<i>innovation and sophistication factors</i>) - 16.5%	64	3.6
11º pilar: Sofisticação dos negócios	56	4.1
12º pilar: Inovação	84	3.2

Fonte: Global Competitiveness Report 2015-2016

Analisando-se os resultados brasileiros, é possível se confirmar a tendência decrescente nos anos recentes, com a queda de quase 30 posições em três anos, além de um desempenho muito ruim nos requisitos definidos como básicos para que um país tenha uma boa competitividade internacional, com o melhor resultado desse grupo ainda posicionando o país entre os 50% piores.

Os cinco fatores mais problemáticos apontados para se realizar negócios no Brasil foram, respectivamente, as taxas de impostos, legislação trabalhista restritiva, corrupção, oferta inadequada de infraestrutura e burocracia governamental. Expandindo-se o segundo pilar (“Infraestrutura”), o Brasil apresentou as pontuações mostradas na Tabela (2) a seguir.

Tabela 2 - Detalhamento da pontuação do Brasil no pilar Infraestrutura

Indicador	Valor	Posição (de 140)
2º pilar: Infraestrutura		
Qualidade da infraestrutura geral	2.9	123
Qualidade das rodovias	2.7	121
Qualidade da infraestrutura ferroviária	1.7	98
Qualidade da infraestrutura portuária	2.7	120
Qualidade da infraestrutura para transporte aéreo	3.8	95
Qualidade do fornecimento de eletricidade	3.8	96
Assinaturas telefônicas móveis/ 100 pessoas	139.0	37
Linhas de telefone fixas/ 100 pessoas	21.8	50

Fonte: Global Competitiveness Report 2015-2016

A colocação geral do Brasil no relatório de 2015-2016 foi a pior dos BRICS (75ª posição). China (28ª), Rússia (45ª), África do Sul (49ª) e Índia (55ª) apresentaram desempenho consideravelmente superior ao brasileiro nos pilares avaliados. A Figura (3) apresenta as pontuações obtidas pelo Brasil, Estados Unidos e Argentina, os três maiores produtores de soja em 2014, em indicadores que impactam fortemente nos custos logísticos nacionais, com os números apresentados acima de cada barra correspondendo à posição geral ocupada por aquele determinado país naquele indicador.

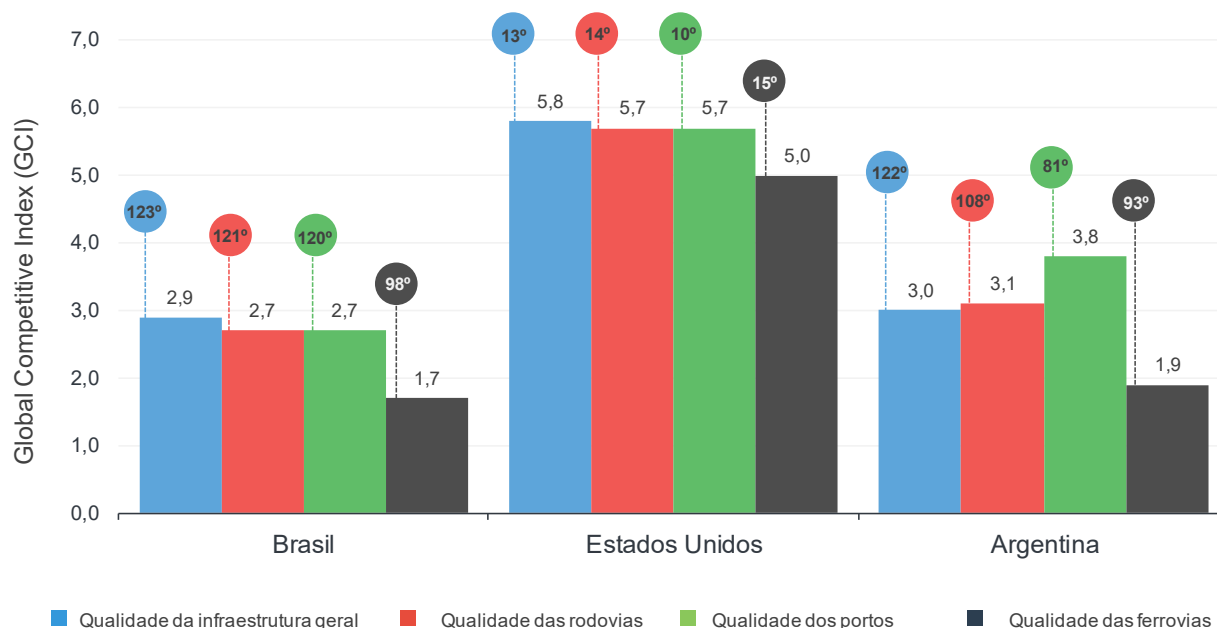


Figura 3 – Desempenho detalhado do Brasil, Estados Unidos e Argentina em indicadores do pilar de Infraestrutura.

Fonte: Global Competitiveness Report 2015-2016

2.2.2 Logistics Performance Index (LPI)

O índice de desempenho logístico é uma ferramenta que possibilita que os países compreendam sua eficiência em comparação a diversos outros países, auxiliando na detecção de áreas críticas e maneiras de aperfeiçoar o seu desempenho. O índice consiste em critérios quantitativos e qualitativos, distribuídos em duas perspectivas:

- **Índice de desempenho logístico internacional (*International LPI*):** avalia o desempenho dos países com foco em suas portas de entrada (como portos e fronteiras) e utiliza uma escala entre 1 e 5, com valores maiores representando melhor desempenho.

A partir da pontuação atribuída a cada componente, são utilizadas técnicas estatísticas para a consolidação em um indicador único, capaz de ser comparado internacionalmente. A Tabela (3) e a Figura (4) apresentam o comparativo do desempenho do Brasil, Estados Unidos e Argentina no índice internacional.

Tabela 3 – Pontuações e posições do Brasil, Estados Unidos e Argentina no índice internacional (*International LPI*)

Logistics Performance Index (LPI)			
	Brasil	Estados Unidos	Argentina
Pontuação Global (1-5)	2,94	3,92	2,99
Posição Global (total de 160)	65^a	9^a	60^a
Customs			
<i>(Eficiência do processo de liberação (velocidade, simplicidade e previsibilidade das formalidades) por parte das agências de controle alfandegárias)</i>			
Pontuação	2,48	3,73	2,55
Posição (dimensão)	94 ^a	16 ^a	85 ^a
Infrastructure			
<i>(Qualidade da infraestrutura relacionada ao comércio e transporte, como portos, rodovias, ferrovias e TI)</i>			
Pontuação	2,93	4,18	2,83
Posição (dimensão)	54 ^a	5 ^a	63 ^a
International Shipments			
<i>(Facilidade de realizar exportações a preços competitivos)</i>			
Pontuação	2,80	3,45	2,96
Posição (dimensão)	81 ^a	26 ^a	64 ^a
Logistics quality and competence			
<i>(Competência e qualidade dos serviços logísticos, como o de operadores logísticos e despachantes aduaneiros)</i>			
Pontuação	3,05	3,97	2,93
Posição (dimensão)	50 ^a	7 ^a	62 ^a
Tracking and tracing			
<i>(habilidade de roteamento e rastreamento de consignações)</i>			
Pontuação	3,03	4,14	3,15
Posição (dimensão)	62 ^a	2 ^a	53 ^a
Timeliness			
<i>(Pontualidade na chegada ao destino dentro do prazo dos embarques)</i>			
Pontuação	3,39	4,14	3,49
Posição (dimensão)	61 ^a	14 ^a	55 ^a

Fonte: Banco Mundial (2014)

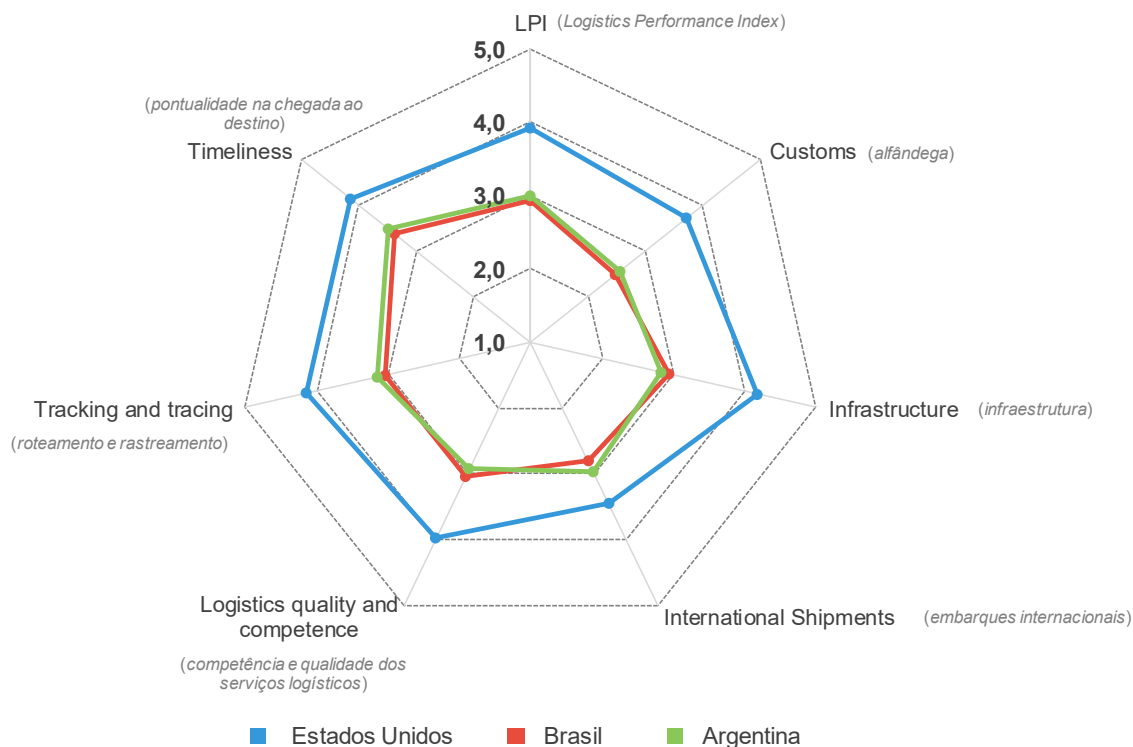


Figura 4 – Pontuações do Brasil, Estados Unidos e Argentina no índice internacional (*International LPI*¹).

Fonte: Banco Mundial (2014)

- **Índice de desempenho logístico doméstico (*Domestic LPI*):** o índice internacional fornece informações amplas relevantes acerca do desempenho de um país. Entretanto, para se analisar o desempenho dos países de maneira mais detalhada, faz-se necessário observar o índice doméstico. A perspectiva doméstica contém, portanto, maior detalhamento sobre o ambiente logístico do país, assim como instituições e processos logísticos chave e desempenho com relação a tempo e custos (BANCO MUNDIAL, 2014). Os principais determinantes do desempenho logístico geral são: **infraestrutura** (portos, aeroportos, rodovias, ferrovias, instalações de armazenamento e transbordo, entre outros), **serviços** (qualidade e competência de serviços logísticos chave), **tempos e procedimentos alfandegários** (tempo necessário para exportação e importação, documentação, entre outros) e **confiabilidade da cadeia de suprimentos** (engloba custos e atrasos não esperados, armazenamento e transbordo compulsório, pagamentos informais – corrupção, entre outros). A Tabela (4) traz os resultados obtidos pelo Brasil, Estados Unidos e

¹Segundo o Banco Mundial, pontuação geral de um país no Logistics Performance Index [International LPI] reflete o desempenho logístico do país com base na eficiência de seus processos alfandegários, qualidade da infraestrutura associada ao comércio e transporte, facilidade de realizar exportações a preços competitivos, qualidade de serviços logísticos, habilidade de roteamento e rastreamento de consignações e frequência na qual embarques chegam ao consignatário dentro do prazo estabelecido. Mais detalhes podem ser verificados em: < <http://data.worldbank.org/indicator/LP.LPI.OVRL.XQ> >. Acesso em 17 jun 2016.

Argentina no relatório de 2014 nos diversos critérios formadores dos determinantes acima mencionados.

Tabela 4 – Parâmetros de desempenho logístico do Brasil, Estados Unidos e Argentina no índice doméstico (*Domestic LPI*).

Logistics Performance Index (<i>domestic LPI</i>)			
	Brasil	Estados Unidos	Argentina
Tempos e custos para exportação (cadeia de suprimentos - porto/aeroporto)			
<i>Medidos do ponto de origem (fábrica, usualmente localizada no maior centro comercial) ao porto/aeroporto de embarque (EXW para FOB)</i>			
Distância (Km)	149 km	177 km	128 km
Lead time (dias)	2 dias	2 dias	2 dias
Custo (US\$)	866 US\$	921 US\$	1.313 US\$
<i>Custos típicos de um container de 40 pés (incluindo frete e taxas alfandegárias e portuárias/aeroportuárias)</i>			
Tempos e custos para exportação (cadeia de suprimentos terrestre)			
<i>Medidos do ponto de origem (fábrica, usualmente localizada no maior centro comercial) ao armazém do comprador (EXW para DDP)</i>			
Distância (Km)	322 km	287 km	535 km
Lead time (dias)	2 dias	3 dias	4 dias
Custo (US\$)	1.000 US\$	1.293 US\$	1.842 US\$
<i>Custos típicos de um container de 40 pés (incluindo frete e taxas)</i>			
Tempos e custos para importação (cadeia de suprimentos - porto/aeroporto)			
<i>Medidos do porto de desembarque ao armazém do comprador (DAT para DDP)</i>			
Distância (Km)	105 km	160 km	135 km
Lead time (dias)	3 dias	2 dias	3 dias
Custo (US\$)	1.015 US\$	769 US\$	1.670 US\$
<i>Custos típicos de um container de 40 pés (incluindo frete e taxas alfandegárias e portuárias/aeroportuárias)</i>			
Tempos e custos para importação (cadeia de suprimentos terrestre)			
<i>Medidos do ponto de origem (fábrica, usualmente localizada no maior centro comercial) ao armazém do comprador (EXW para DDP)</i>			
Distância (Km)	606 km	454 km	792 km
Lead time (dias)	3 dias	3 dias	4 dias
Custo (US\$)	1.191 US\$	944 US\$	2.943 US\$
<i>Custos típicos de um container de 40 pés (incluindo frete e taxas)</i>			
Embarques satisfazendo critérios de qualidade (%)	81,61%	86,67%	91,43%
Número de agências (exportação)	4	3	4
Número de agências (importação)	4	4	5
Número de documentos (exportação)	5	3	4
Número de documentos (importação)	4	3	5
Tempo de liberação sem inspeções físicas (dias)	5 dias	1 dias	3 dias
Tempo de liberação com inspeções físicas (dias)	8 dias	2 dias	4 dias
Inspeções físicas (%)	7,50%	3,63%	11,77%
Inspeções múltiplas (%)	3,04%	2,30%	3,11%

Fonte: Banco Mundial (2014).

A partir dos índices GCI e LPI, pode-se perceber que, apesar de o Brasil disputar com os Estados Unidos a posição de maior produtor de soja, por exemplo, com níveis de produtividade muito similares, o Brasil apresenta um desempenho geral no escoamento e exportação bastante inferior ao dos Estados Unidos. Desde 2007, quando o índice LPI começou a ser mensurado pelo Banco Mundial, a melhor posição obtida pelo Brasil foi a 41ª posição em 2010, enquanto que a melhor posição obtida pelos Estados Unidos foi justamente a 9ª posição, mantida desde 2012. A comparação com a Argentina, apesar de trazer pontos vantajosos ao Brasil (como custos para exportação e importação menores, retratados na Tabela (4)), também traz pontos brasileiros bastante defasados (como a classificação de acordo com a

qualidade dos portos brasileiros quase 40 posições abaixo da Argentina, ou a classificação quase 20 posições abaixo com relação à facilidade de se realizar exportações a preços competitivos, mostrados na Figura (3) e na Tabela (3), respectivamente). Assim, apesar de o Brasil ocupar a posição de liderança no Mercosul, o país apresenta infraestrutura logística incompatível com esse papel.

2.3 O PORTO DE SANTOS

2.3.1 Caracterização

O Porto de Santos localiza-se nos municípios de Santos e Guarujá, no Estado de São Paulo. O porto é a principal porta de saída do comércio exterior brasileiro, e praticamente todos os estados brasileiros utilizam o Porto de Santos em algum grau para viabilizar transações comerciais (CODESP, 2006). A área de influência do porto, a sua hinterlândia, é formada primariamente pelos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Distrito Federal (PORTO DE SANTOS, 2015).

O Decreto Nº 8.033, de 27 de junho de 2013, que regulamenta a exploração de portos organizados e instalações portuárias estabelece que o poder concedente será exercido através da Secretaria de Portos da Presidência da República (SEP), com atribuições de definir diretrizes para regulamentos de exploração, conduzir estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental de iniciativas, entre outros (BRASIL, 2013). Ainda de acordo com o Decreto, é de atribuição da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) a fiscalização de contratos, realização dos processos licitatórios, aplicação de multas, entre outras. Por fim, compete à Autoridade Portuária, no caso do Porto de Santos a Companhia Docas do Estado de São Paulo (CODESP), a elaboração de propostas de Planos de Desenvolvimento e Zoneamento, suporte à ANTAQ em suas funções fiscalizatórias, pré-qualificação de operadores portuários, entre outras.

2.3.2 Relevância

O Porto de Santos movimentou aproximadamente 119,94 milhões toneladas de carga em 2015, sua melhor marca em toda a série histórica. Este resultado ampliou a liderança do Porto de Santos na corrente de comércio brasileiro em valor (a soma das exportações e importações realizadas), com participação de 27,3%, e 35,2% quando se considera apenas cargas movimentadas através de portos (CODESP, 2016). Em 2016, no acumulado até abril, a movimentação de cargas observada no quadrimestre já ultrapassava o observado no mesmo período do ano anterior, atingindo seu maior valor na série histórica, com uma movimentação aproximada de 37,5 milhões de toneladas. A Figura (5) mostra a evolução da movimentação de cargas nos principais portos brasileiros entre 2010 e 2013.

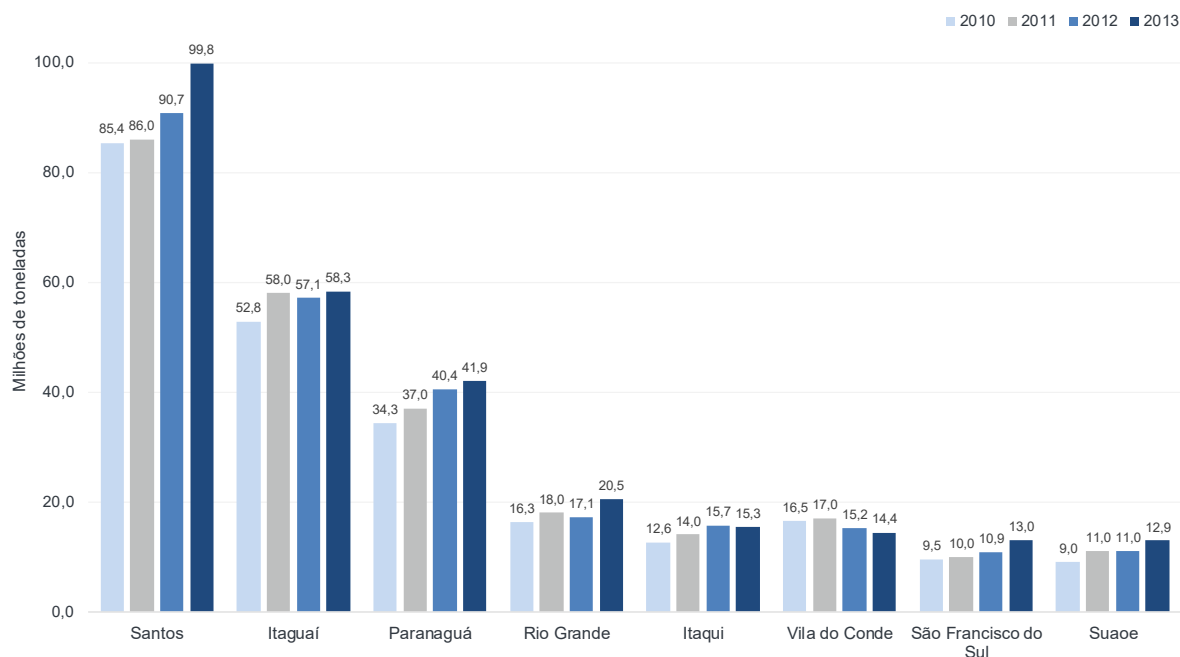


Figura 5 – Evolução da movimentação de cargas nos principais portos brasileiros

Fonte: ANTAQ (2014).

As cargas agrícolas com maiores movimentações no Porto de Santos no acumulado do ano de 2015 incluem o açúcar, com 15,2% de participação, milho (13,2%) soja em grãos (11,0%), farelo de soja (3,9%), celulose (2,8%), e cargas com participação minoritária, como adubos, sucos cítricos, carvão, enxofre, trigo, entre outras (CODESP, 2016). Considerando-se as estatísticas mais recentes publicadas (acumulado até abril de 2016), a soja em grãos liderava com uma participação de 24,8%, seguida pelo açúcar (11,5%), milho (5,9%), farelo de soja (4,3) e outras cargas com participação inferior a 3,0% (CODESP, 2016). A Figura (6) a seguir traz a participação do Porto de Santos na exportação de algumas das principais commodities agrícolas brasileiras.

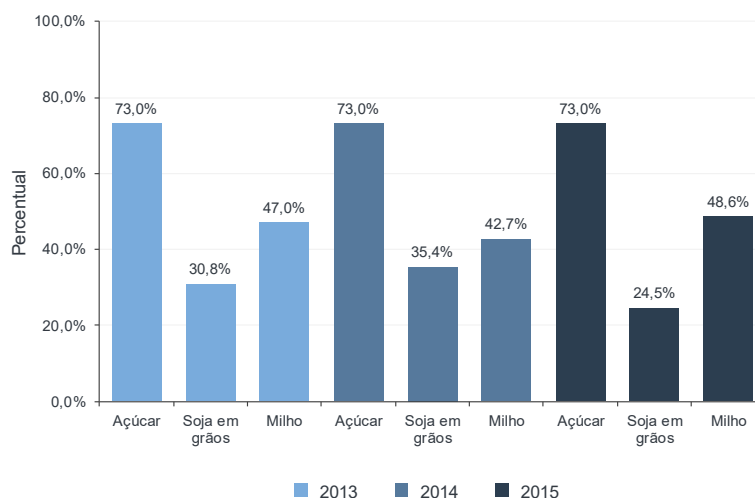


Figura 6 – Participação do Porto de Santos na exportação de algumas das principais commodities agrícolas.

Fonte: CODESP (2016)

2.3.3 Granéis Sólidos Vegetais

A chegada desordenada de caminhões ao Porto de Santos foi motivo de formação de filas quilométricas nas rodovias de acesso em anos passados, com destaque para o ano de 2013, que apresentou filas que alcançaram 30 quilômetros no mês de março (BBC BRASIL, 2013). De modo a evitar esses efeitos nos períodos de safra seguintes, a CODESP resolveu, por meio da Resolução Nº 136.2013, de 30 de dezembro de 2013, estabelecer o agendamento da chegada de caminhões ao porto. De acordo com a resolução, todos os caminhões com destino ao Porto de Santos deverão possuir agendamento prévio, sendo que os transportadores de granel sólido vegetal (como açúcar, soja, milho, trigo, entre outros) são obrigados a utilizar os Pátios Reguladores credenciados pela CODESP antes de se encaminharem aos terminais de destino (CODESP, 2013). Os principais bolsões de estacionamento são os pátios reguladores Ecopátio e Rodopark, ambos situados em Cubatão, a uma distância de cerca de 30 quilômetros do Porto de Santos, como ilustra a Figura (7). Há ainda um terceiro pátio regular, presente em Sumaré (representado pelo número 1), pertencente à empresa Rumo Logística (do Grupo Cosan), mas que não será contemplado nesse trabalho.



Figura 7 – Pátios reguladores do Porto de Santos.

Fonte: SEP (2015)

O Ecopátio (número 2 da figura) é um pátio regulador administrado pela Ecorodovias, mesmo grupo que administra o sistema Anchieta-Imigrantes (SAI), principal ligação entre a região metropolitana de São Paulo e o Porto de Santos. O Ecopátio possui o maior número de vagas para estacionamento rotativo dos caminhões. O Rodopark (número 3 da figura), por sua vez, é um pátio regulador administrado pela empresa Rodopark Logística e possui número de vagas estáticas para estacionamento de caminhões menor que o Ecopátio. A Tabela (5) apresenta o comparativo entre os dois pátios com relação a sua

capacidade, enquanto que as Figuras (8) e (9) trazem uma visualização panorâmica do Ecopátio e Rodopark.

Tabela 5 – Comparativo das capacidades dos pátios reguladores

Pátio Regulador	Área (m²)	Capacidade (vagas)
Ecopátio	446.000	1.100
Rodopark	50.000	400

Fonte: SEP (2015)



Figura 8 – Vista panorâmica do Ecopátio.

Fonte: Página da Elog



Figura 9 – Vista panorâmica do Rodopark.

Fonte: Página do Rodopark

A comercialização das cargas agrícolas com maior movimentação no Porto de Santos se concentram, basicamente, nas áreas do Corredor de Exportação (COREX), Outeirinhos e Conceiçãozinha, regiões sinalizadas, respectivamente, nas cores amarelo, azul escuro e salmão na Figura (10), todas situadas

dentro da poligonal portuária (representação dos limites da área do Porto Organizado de Santos). As Figuras (11) a (13), por sua vez, apresentam as principais instalações constantes em cada área.

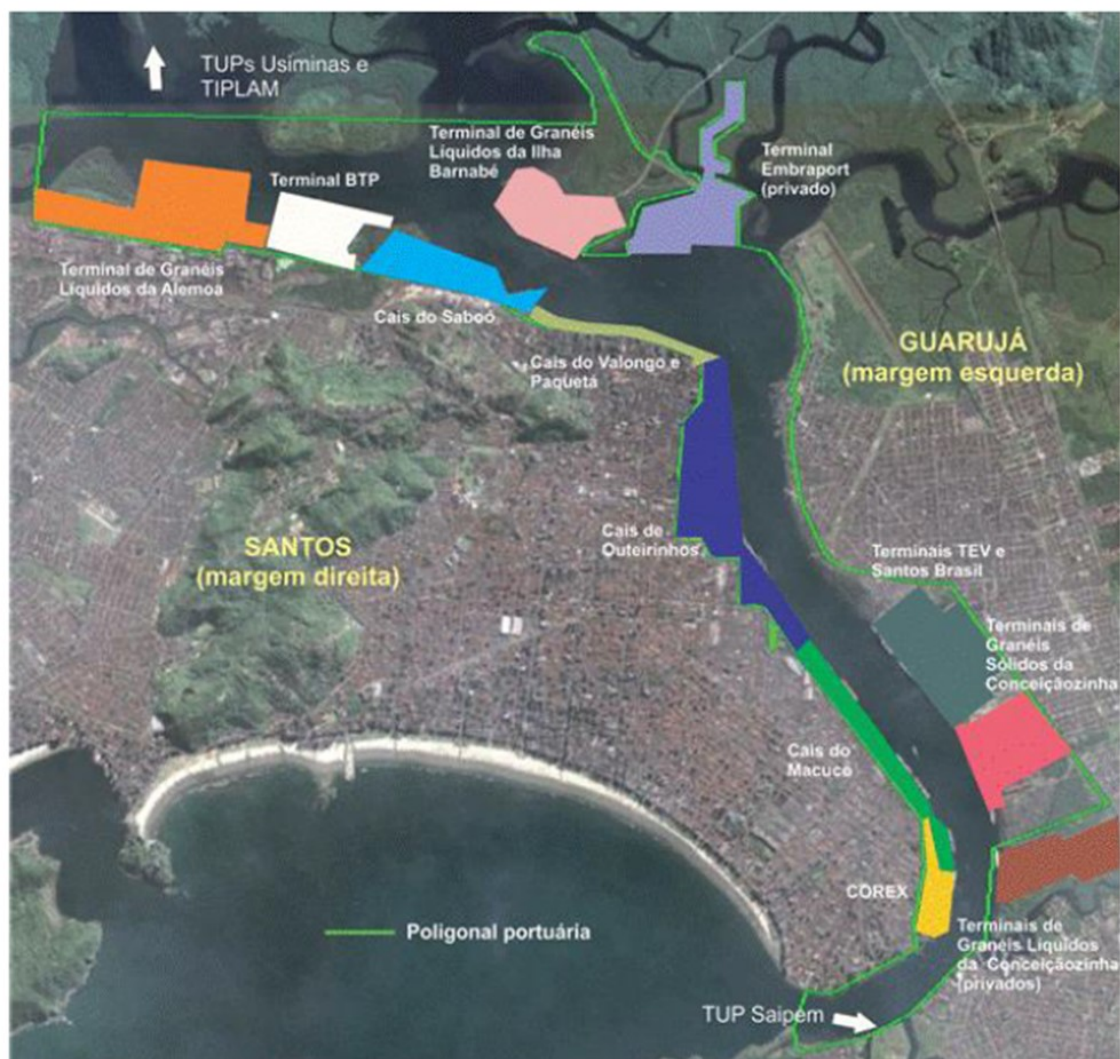


Figura 10 – Terminais do Complexo Portuário de Santos.

Fonte: SEP (2015)



LEGENDA

Contêineres / carga geral	4 Cereal Sul - Silos 1, 2 e 3	16 Rumo/Cosan - Armazém X	28 Marimex - Pátio
Granéis sólidos	5 Rodrimar - Armazém III	17 Rumo/Cosan - Armazém XV	29 Marimex - Armazém XXX
Açúcar	6 Rodrimar - Armazém VIII	18 Rumo/Cosan - Armazém XX	30 Bandeirantes - Armazém 22
Sucos cítricos	7 Rishis - Armazém XIII	19 Rumo/Cosan - Armazém XXIII	31 Bandeirantes - Armazém 23
Passageiros	8 Rishis - Armazém XVIII	20 Rumo/Cosan - Armazém XXVI	32 Bandeirantes - pátio
Administração portuária/ oficinas/ Marinha	9 Rumo/Cosan - Armazéns 16/17	21 Copersucar - Armazém 20/21	33 Pérola - Armazém XII
Berço	10 Rumo/Cosan - Armazém IV	22 Copersucar - Armazém VI	34 Pérola - Armazém XVII
1 Armazém 12A	11 Rumo/Cosan - Armazém IX	23 Copersucar - Armazém XI	35 Salmac - Armazém para sal
2 Fibria - Armazém 13	12 Rumo/Cosan - Armazém XIV	24 Copersucar - XVI	36 Concais
3 Fibria - Armazéns 14/15	13 Rumo/Cosan - Armazém XIX	25 Copersucar - XXI	37 T-Grão - Silos
	14 Rumo/Cosan - antigo Armazém 19	26 Marimex - Armazém XXIV	38 Rhamo
	15 Rumo/Cosan - Armazém V	27 Marimex - Armazém XXV	39 Moinho Paulista

Figura 11 – Zoneamento do Cais de Outeirinhos

Fonte: SEP (2015)



LEGENDA

Granéis sólidos	3 Quintella & ACT - Armazém 38	7 ADM - Armazém XLI
Berço	4 Citrosuco/Caramuru - Armazém XL	8 ADM - Armazém XLIII
1 Terminal XXXIX	5 Pool de Exportadores - Armazém XLII	
2 Terminal XXXIX - Armazém	6 ADM - Armazém 39	

Figura 12 – Zoneamento do Corredor de Exportação

Fonte: SEP (2015)



Figura 13 – Zoneamento dos Terminais de Granéis Sólidos de Conceiçãozinha

Fonte: SEP (2015)

2.4 OBJETIVO

Tendo em vista o contexto apresentado para as commodities brasileiras, assim como o reconhecimento das deficiências apresentadas pelo país na infraestrutura logística para escoamento e exportação dessas e o crescente envolvimento do governo com o setor privado nessa área, foi definido o seguinte objetivo geral:

Analisar, utilizando-se Teoria das Filas e Simulação, a eficiência do sistema formando por um Pátio Regulador e um Terminal Portuário, avaliada a partir dos tempos de permanência e número de caminhões em cada etapa do sistema.

A fim de se aprofundar mais na análise da eficiência do sistema (Figura (14)) e sua relação com o desempenho logístico no escoamento da produção de commodities para exportação, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar os custos estimados de transporte da soja oriunda de Mato Grosso para o Porto de Santos para o cenário atual, em que o terminal portuário analisado possui três tombadores;
- Analisar os custos associados ao tempo de permanência dos caminhões no sistema para o cenário atual;
- Verificar a melhoria obtida no desempenho do sistema para as simulações dos cenários em que o terminal portuário analisado possuiria quatro tombadores (cenário com melhoria) e seis tombadores (cenário com desempenho semelhante ao encontrado em portos de referência internacionais);
- Verificar a redução nos custos estimados de transporte e custos associados ao tempo de permanência no sistema para os cenários com quatro tombadores e seis tombadores, em comparação aos valores obtidos para o cenário atual com três tombadores.



Figura 14 – Representação do problema de pesquisa

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo fornecer a fundamentação teórica necessária para o alcance dos objetivos propostos para este trabalho, com enfoque especial dado à área de Teoria das Filas.

3.1 MODELAGEM DE SISTEMAS

Um sistema pode ser entendido como um conjunto de componentes inter-relacionados, trabalhando em conjunto para o atingimento de um objetivo comum (BLANCHARD; FABRYCKY, 1990). Sistemas podem ser formados por diversos subsistemas, que interagem entre si, formando um sistema maior. Um modelo, por sua vez, é definido como a representação de algo, uma descrição simplificada de uma entidade ou processo complexo (MÁRQUEZ, 2010). Assim, a modelagem diz respeito à representação, através de um modelo simplificado, de algum sistema, processo ou entidade da realidade, que usualmente se comporta de maneira bastante complexa.

A área de simulação envolve, então, uma ampla coleção de métodos e aplicações que permitem a imitação do comportamento de um sistema (KELTON, 2010). Os sistemas podem ser classificados a partir de uma variedade de critérios (Figura 15), como se são naturais ou feitos pelo homem, se são físicos ou conceituais, ou se são determinísticos ou estocásticos, entre diversos outros. Como o principal objetivo de um modelo de simulação é o de possibilitar a coleta de informações em função do tempo de algum sistema em particular, dois grandes grupos de modelos de simulação surgem: modelos discretos e modelos contínuos (ROSSETTI, 2015).

Para o propósito desse trabalho, serão analisados sistemas do tipo discreto (que englobam os sistemas de filas), em que “[...] observações são coletadas em pontos específicos no tempo, quando determinadas mudanças ocorrem no sistema. Esses pontos específicos são chamados de eventos” (ROSSETTI, 2015, p.5).

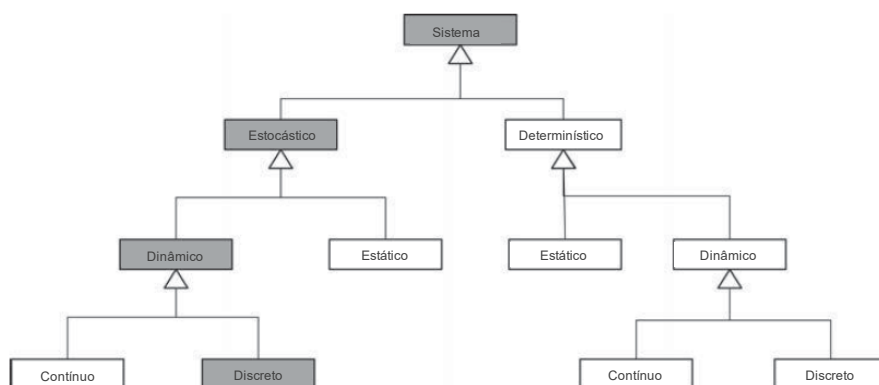


Figura 15 – Tipos de sistemas.

Fonte: adaptado de Rossetti (2015)

3.2 TEORIA DAS FILAS

A Teoria das Filas preocupa-se, de maneira geral, com técnicas matemáticas para a análise do fluxo de objetos através de uma rede (NEWELL, 1982). Assim, um sistema de filas pode ser descrito como entidades chegando para atendimento, aguardando (caso ele não ocorra de maneira imediata) e saindo do sistema após o atendimento, caso tenham decidido aguardar (GROSS et al., 2008). De acordo com Hall (2003), o estudo de filas teve início com Agner Erlang e suas pesquisas envolvendo a capacidade necessária para sistemas de telefonia. De maneira geral, filas se formam sempre quando a demanda por um serviço ultrapassa a capacidade de atendimento deste serviço, sejam peças esperando processamento por algum equipamento, pessoas esperando atendimento em bancos, aviões esperando liberação para decolagem, carros parados em um engarrafamento, caminhões esperando para descarregar a carga em um terminal de exportação, entre diversos outros.

Por ser um fenômeno quase que inevitável (a formação de filas), o propósito da Teoria de Filas é otimizar o desempenho do sistema, de modo que tanto a entidade que aguarda na fila, quanto a que atende obtenham os maiores benefícios (BHAT, 2008). Ainda de acordo com o autor, antigamente era usual encontrar filas separadas por balcão de atendimento em terminais de companhias aéreas; atualmente, porém, invariavelmente se encontra uma fila única, resultado de constatação de que esse modelo de fila proporciona um melhor atendimento (BHAT, 2008).

A Figura (16) apresenta um modelo simplificado típico de um processo de fila, no qual a seta indicando a saída de clientes insatisfeitos com a fila representa o comportamento de recusa (do inglês *balking*), que pode ser do tipo não forçado (como o apresentado na figura) ou forçado (quando o modelo apresenta uma fila finita, incapaz de acomodar a chegada dessa entidade).

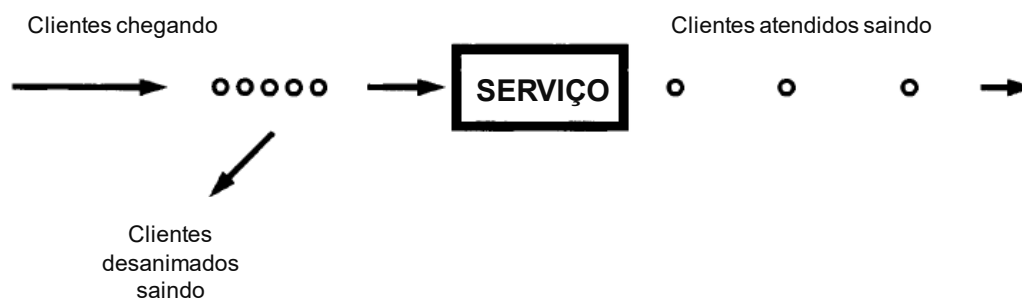


Figura 16 – Representação típica de um processo de filas.

Fonte: adaptado de Gross et al. (2008)

3.2.1 Elementos de um modelo de filas

De acordo com Gross et al. (2008), pode-se, na maioria dos casos, descrever um sistema de filas a partir de seis características básicas: (i) padrão de chegadas; (ii) padrão de serviço; (iii) disciplina da fila; (iv) capacidade do sistema; (v) número de canais de serviço; e (vi) número de etapas de serviço.

3.2.1.1 Padrão de chegadas

O padrão no qual entidades chegam ao sistema de filas é chamado de processo de chegada, e normalmente envolve um nível de incerteza (isto é, não é um processo determinístico). Assim, normalmente os problemas de filas envolvem um processo de chegadas estocástico, o que torna essencial o conhecimento da função de probabilidade que descreve o tempo entre chegadas das entidades (isto é, o tempo que decorre entre chegadas sucessivas ao sistema).

Além da função de probabilidade que descreve o tempo entre chegadas, há outras características relevantes relacionadas ao processo de chegadas que influenciam as análises, como o número de chegadas que podem ocorrer em um dado instante, o comportamento de chegada dos clientes, utilizado aqui de maneira ampla, englobando não apenas pessoas, e se o padrão de chegadas é ou não estacionário. O número de chegadas diz respeito a se o modelo engloba a possibilidade de chegadas múltiplas em um dado instante ou se não mais do que uma chegada pode ocorrer em um dado instante. O comportamento das chegadas se refere aos comportamentos de recusa, apresentado na Figura (16), desistência (do inglês *reneging*), que envolve clientes que entram no sistema, mas saem antes de serem atendidos, e de aposta (do inglês *jockeying*), que é o fenômeno observado quando há filas paralelas e os clientes trocam de fila na expectativa de serem atendidos mais rapidamente. Finalmente, o padrão de chegadas é dito estacionário quando não apresenta dependência temporal, enquanto que um padrão não estacionário apresenta alterações com o tempo (como por exemplo hora de rush em avenidas).

3.2.1.2 Padrão de serviço

Assim como para o processo de chegadas, o processo de atendimento (ou processo de serviço) também usualmente demanda a descrição de uma distribuição de probabilidades que governa os tempos de serviço. O atendimento, assim como as chegadas, pode ser realizado em lotes ou de maneira individualizada. O processo de atendimento pode apresentar dependência com relação ao estado do sistema (*state-dependent service*), que ocorre quando o atendimento sofre alterações dependendo do número de clientes aguardando na fila (o atendente pode, por exemplo, acelerar seu ritmo de serviço caso observe um processo de acumulação na fila, ou o oposto, caso observe um processo de chegadas em ritmo desacelerado).

3.2.1.3 Disciplina da fila

O termo disciplina da fila diz respeito à maneira pela qual os clientes são atendidos. O método FIFO (*first in, first out*) é o mais usual como disciplina de filas, no qual os clientes são atendidos de acordo com a ordem na qual entram na fila. Outros métodos incluem o LIFO (*last in, first out*), no qual o último a entrar é o primeiro a ser atendido; SIRO (*service in random order*), em que o cliente é selecionado para atendimento de forma aleatória; métodos com prioridades, que são usualmente do tipo FIFO, mas com clientes específicos recebendo prioridade maior para serviço (como idosos ou pessoas com enfermidades de maior grau de perigo em um hospital).

3.2.1.4 Capacidade do sistema

A capacidade do sistema diz respeito ao tamanho de fila que ele é capaz de comportar. Usualmente, problemas de filas tendem a supor filas infinitas, devido a maior facilidade na execução das operações matemáticas, mesmo quando o tamanho real da fila é algum tamanho finito relativamente grande (HILLIER; LIEBERMAN, 2001). Entretanto, tal suposição apresenta-se incompatível com alguns exemplos, como um restaurante, em que o fenômeno da recusa pode ocorrer de maneira forçada, caso algum cliente chegue e não haja capacidade de atendimento.

3.2.1.5 Número de canais de serviço

Essa característica diz respeito ao número de estações de serviço em paralelo disponíveis, capazes de atender os clientes de maneira simultânea (GROSS et al., 2008). Essas estações de atendimento podem, por sua vez, ser alimentadas através de uma fila única ou diversas filas, como pode ser visto na Figura (17), em que à esquerda há um sistema de filas com diversas estações de atendimento em paralelo e uma fila única, enquanto que à direita há diversas filas que alimentam cada estação de atendimento em separado.

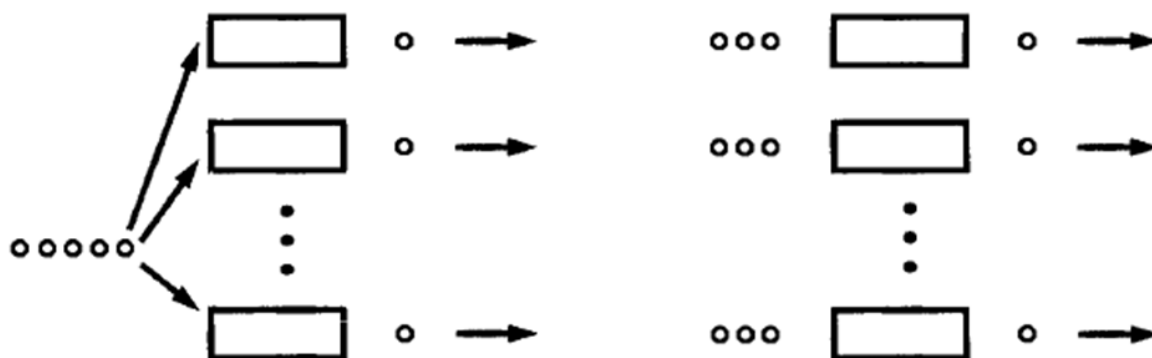


Figura 17 – Sistemas de fila com multicanais de serviço.

Fonte: Gross et al (2008)

3.2.1.6 Número de etapas de serviço

Por fim, outra característica importante de sistemas de fila é o número de etapas que os clientes atravessam até finalizar seu atendimento. Alguns sistemas de filas são caracterizados por uma sequência de instalações de atendimento que podem, ou não, possuir o mesmo padrão de operação (com relação a capacidade da fila, disciplina, canais de atendimento, entre outros) e que os clientes podem ter, ou não, de passar por todas as etapas de acordo com uma sequência padronizada. A Figura (18) apresenta uma representação de um sistema de filas com diversas etapas.

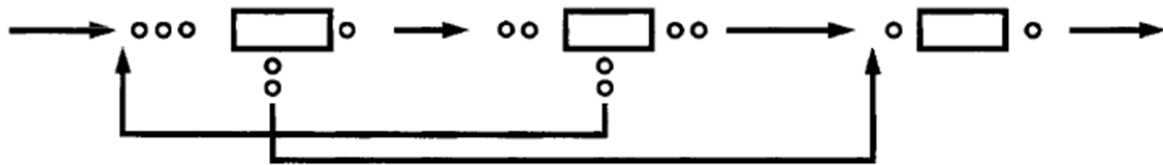


Figura 18 – Sistema de fila com diversas etapas de serviço.

Fonte: Gross et al (2008)

3.2.2 Representação de um processo de filas

Uma das ferramentas mais simples e ao mesmo tempo mais potentes, devido à quantidade de informação que disponibiliza, é o chamado diagrama de fluxo acumulado (*cumulative flow diagram*). Esse tipo de representação apresenta dois gráficos: o número acumulado de chegada ao sistema de filas e o número acumulado de saídas do sistema. A partir desses dois gráficos, pode-se extrair medidas importantes de desempenho do sistema, como tempo médio de espera na fila, o número médio de clientes na fila, o tempo total de espera, entre outras.

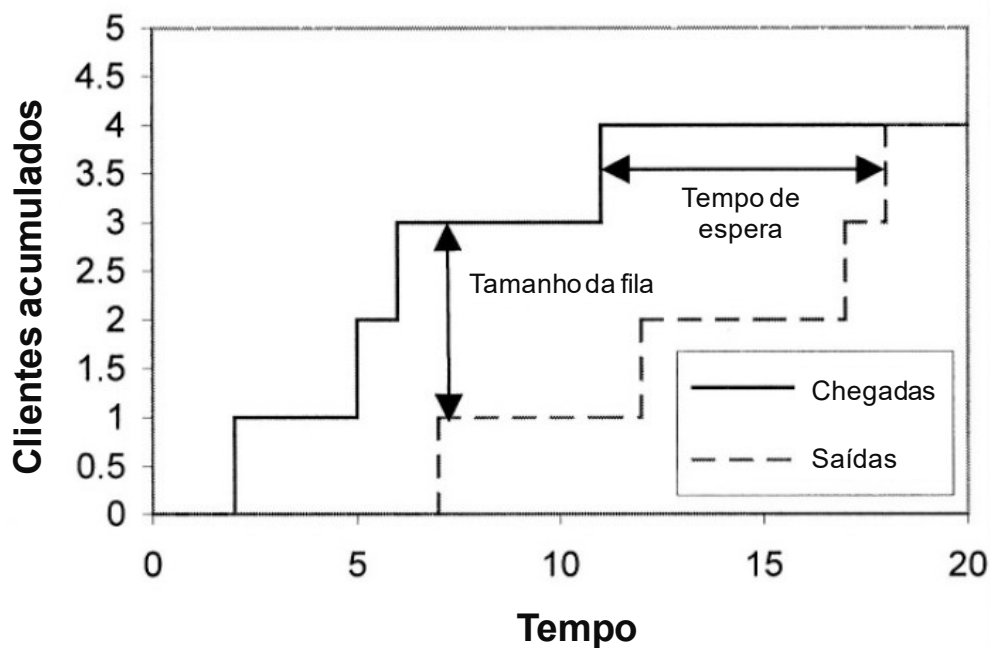


Figura 19 – Diagrama de fluxo acumulado.

Fonte: adaptado de Hall (2003)

Analisando-se o diagrama apresentado na Figura (19), nota-se que: (i) a inclinação das curvas de chegada e saída fornecem uma indicação acerca da capacidade do sistema; (ii) a distância horizontal destacada representa o tempo em que um cliente permanece no sistema (assumindo-se disciplina FIFO); (iii) a distância vertical destacada representa o número de clientes no sistema naquele momento; e (iv) a área entre as curvas representa o tempo total de espera. Analogamente, o tempo médio de permanência no sistema é dado pela distância horizontal média entre as curvas e o número médio de clientes na fila

é dado pela distância vertical média entre as curvas. Assim, o diagrama de fluxo acumulado é uma ferramenta muito útil para se visualizar o que acontece em um sistema de filas, além de determinar rapidamente como decisões impactam as filas no processo (REINERTSEN, 1997). Diagramas adicionais ainda podem ser criados para pontos intermediários, no caso quando clientes atravessam diversas etapas no sistema de filas (HALL, 2003).

Para o caso de filas em série, o esquema apresentado na Figura (19) contaria com mais curvas, representando as chegadas e saídas dos diversos pontos de serviços que o sistema de filas em série possa ter. O fluxo apresentado na Figura (20) representa um sistema de filas comum em linhas de produção, formado por n filas (representadas a partir das estações de armazenamento) e n servidores (que podem ser as diversas máquinas pelas quais uma peça tem de passar até ser transformado no produto final).

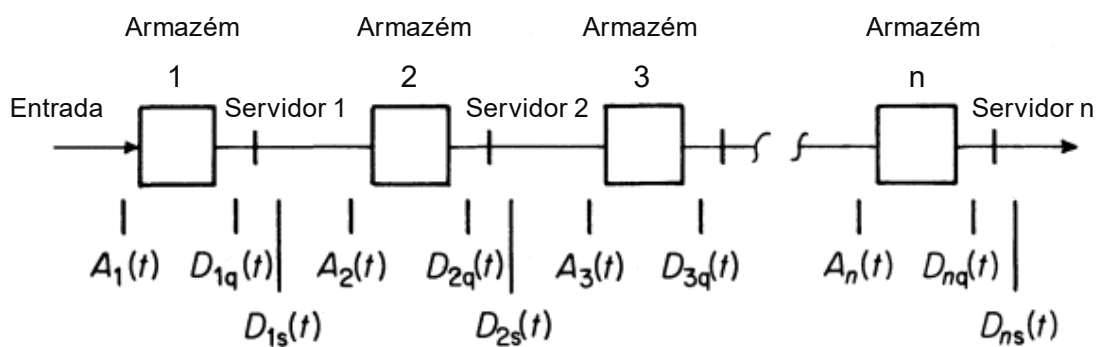


Figura 20 – Fluxo esquemático de clientes através de um sistema de filas em série

Fonte: adaptado de Newell (1982)

Para se analisar a evolução de sistemas de fila como o apresentado na Figura (20), pode-se imaginar que há um observador posicionado em diversos pontos do sistema, como entrada e saída das estações de armazenamento (filas) e servidores. Esses observadores então computariam as identidades e tempos de chegada e saída de cada cliente em cada ponto (NEWELL, 1982). Dessa forma, quando cada cliente saísse do sistema de filas, suas informações já teriam sido computadas, tornando possível, após a chegada e saída de diversos clientes, a representação gráfica do sistema de filas. Nesse tipo de representação, temos que:

$$A(t) = \text{número acumulado de chegadas do tempo 0 ao tempo } t \quad (1)$$

$$D(t) = \text{número acumulado de saídas do tempo 0 ao tempo } t \quad (2)$$

Cada curva dessas pode ainda receber uma letra subscrita, como pode ser visto nas Figuras (20) e (21), para indicar a identidade do cliente e o estágio do sistema a que se refere. Por exemplo, $A_1(t)$ representa o número acumulado de clientes a entrarem no sistema, $D_{2q}(t)$ se refere ao número acumulado de clientes a saírem da segunda estação de armazenamento (fila), enquanto que $D_{ns}(t)$ diz respeito ao número acumulado de clientes a saírem do atendimento no servidor n .

A partir das Equações (1) e (2), temos que o número de clientes em cada instante é dado pela Equação (3), em que, caso se deseje saber o número de clientes no sistema de filas em dado momento, subtrai-se a última curva de saídas acumuladas (por exemplo, $D_{ns}(t)$) da primeira curva de chegadas acumuladas ao sistema ($A_1(t)$), enquanto que caso se deseje saber o número de clientes aguardando na fila em determinado momento ($L_q(t)$), deve-se subtrair a curva de saídas acumuladas da fila do número de chegadas acumuladas à fila (por exemplo, $A_2(t) - D_{2q}(t)$).

$$L(t) = A_1(t) - D_{ns}(t) \quad (3)$$

O diagrama de fluxo acumulado permite ainda a visualização do tempo que um determinado cliente permaneceu no sistema, na primeira fila, em atendimento pelo primeiro servidor, em trânsito para a segunda fila, entre outros. Essas informações são obtidas a partir da Equação (4), em que, para um dado cliente j , caso se deseje saber o tempo que ele permaneceu na fila (W_{qj}), deve-se subtrair o tempo em que ele saiu da fila (por exemplo, t_{1qj}) pelo tempo em que ele entrou na fila (t_{1j}). Analogamente, para saber o tempo em que um cliente permanece no sistema (W_j), deve-se subtrair o tempo em que ele saiu do último atendimento (t_{nsj}) pelo tempo em que ele entrou na fila (t_{1j}). A Figura (21) traz a representação gráfica dessas informações.

$$W_j = t_{nsj} - t_{1j} \quad (4)$$

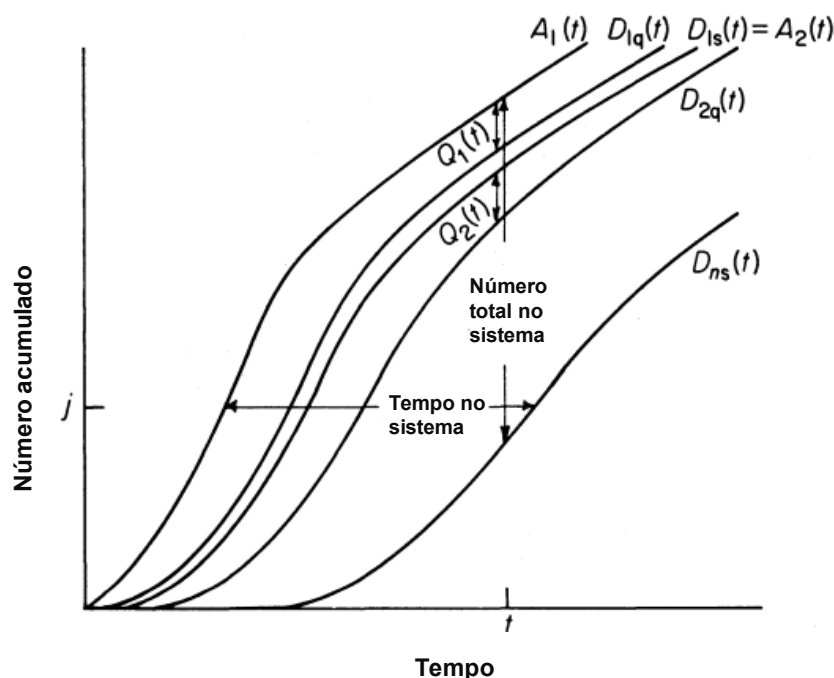


Figura 21 – Representação gráfica de filas em série

Fonte: adaptado de Newell (1982)

3.3 SOFTWARE MATLAB

O nome MATLAB origina-se da combinação das palavras MATrix LABoratory, devido ao fato de a base operacional do software ser matrizes. O MATLAB é um software para cálculos numéricos e visualizações de alto desempenho (PRATAP, 2009). Um dos grandes diferenciais do MATLAB é justamente o fato de ele interpretar as informações como matrizes, o que permite a resolução de problemas em um tempo bastante inferior ao que seria necessário para se escrever o mesmo tipo de problema em linguagens de programação tradicionais, como C.

O MATLAB oferece ainda uma diversidade em extensões (chamadas de *toolboxes*). Algumas das mais utilizadas em problemas de Pesquisa Operacional incluem:

- **Optimization Toolbox:** a extensão de otimização fornece funções para a minimização ou maximização com restrições, incluindo *solvers* para programação linear, não linear, inteira mista, quadrática, entre outros, que permitem a otimização de problemas contínuos e discretos;
- **Statistics and Machine Learning Toolbox:** a extensão de estatística e aprendizado de máquina inclui funções para descrever, analisar e modelar dados, incluindo análises descritivas estatísticas, gráficos estatísticos exploratórios, ajuste de curvas, testes de hipótese, geração de números aleatórios, regressões, entre outras;
- **SimEvents:** essa extensão consiste em uma biblioteca para a simulação de eventos discretos dentro do Simulink (ambiente dentro do MATLAB para diagramação gráfica por blocos). A biblioteca SimEvents adiciona ao ambiente do Simulink blocos para a modelagem de fluxos de processos em geral, com possibilidade de aplicações nas áreas de gestão de estoques, filas, identificação de gargalos em sistemas produtivos, entre outras.

4 METODOLOGIA

A partir do objetivo do trabalho apontado no capítulo 2, este capítulo detalha a maneira pela qual este estudo foi realizado, bem como apresenta os passos utilizados para se obter os parâmetros relevantes aos modelos de filas, utilizados para a realização das simulações apresentadas no capítulo 5.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA METODOLOGIA DE PESQUISA

Berto e Nakano (1998) defendem que a metodologia de pesquisa fornece subsídios para se planejar e desenvolver uma investigação científica acerca de algum fenômeno observado na realidade. A caracterização da pesquisa, por sua vez, pode ser realizada levando-se em consideração fatores como a natureza dos resultados, abordagem do problema e método utilizado. Com relação à natureza dos resultados, uma pesquisa pode ser classificada como pura, quando tem o objetivo de gerar novos conhecimentos, porém sem previsão de aplicação prática, ou aplicada, quando busca gerar conhecimentos para a solução de problemas específicos (GANGA, 2012). No que diz respeito à abordagem, uma pesquisa pode ser classificada como quantitativa ou qualitativa. Uma abordagem quantitativa busca quantificar e validar relações de causa e efeito entre variáveis, de modo a explicar, pelo menos em partes, algum fenômeno, enquanto que uma pesquisa qualitativa tem a preocupação de obter informações sobre o dado fenômeno com um enfoque na visão dos indivíduos envolvidos (GANGA, 2012).

Com relação aos procedimentos técnicos utilizados, Ganga (2012) traz também um conjunto desses procedimentos comuns a pesquisas em Engenharia de Produção. A saber:

- Pesquisa bibliográfica;
- Desenvolvimento teórico conceitual;
- Pesquisas experimentais;
- *Survey*;
- Modelagem e simulação;
- Estudo de caso; e
- Pesquisa-ação.

Dentre os métodos apresentados acima, o presente trabalho se caracteriza como uma modelagem e simulação. De acordo com Miguel et al. (2010), a modelagem envolve a utilização de técnicas matemáticas para descrever como determinado sistema funciona, enquanto que a simulação está relacionada ao uso de técnicas computacionais para simular o funcionamento de determinado sistema a partir da modelagem matemática. Portanto, de maneira ampla, o presente trabalho se configura como uma pesquisa aplicada, quantitativa e que utiliza como método a modelagem e simulação de sistemas.

4.2 ETAPAS DO TRABALHO

A partir do entendimento do problema de filas em questão, como apresentado na Figura (14), os passos seguintes do trabalho envolveram: (i) a análise da base de dados de chegadas de caminhões aos pátios reguladores e terminais do Porto de Santos para o escoamento de grânéis sólidos vegetais durante o ano de 2014; (ii) a identificação dos parâmetros relevantes ao modelo de filas utilizado para as simulações; (iii) a realização da simulação para o pátio regulador e terminal portuário definido durante a análise da base de dados; e (iv) a conclusão do trabalho, com a exposição dos resultados obtidos nas simulações e suas implicações no contexto dos custos logísticos para escoamento para o Porto de Santos. A Figura (22) a seguir apresenta de forma visual e em maior detalhe as etapas envolvidas no presente trabalho.

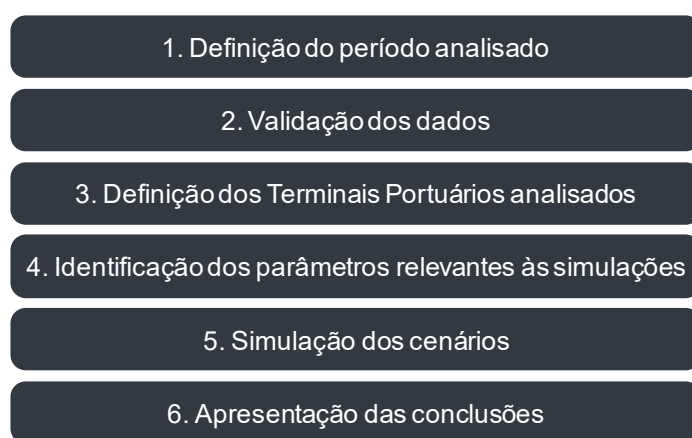


Figura 22 - Etapas do trabalho.

As etapas de definição do período analisado, validação dos dados, definição dos terminais analisados e identificação dos parâmetros relevantes (etapas 1 a 4) serão abordadas neste capítulo, enquanto que as etapas de simulação e apresentação de resultados serão apresentadas nos próximos capítulos.

4.2.1 Definição do período analisado

A base de dados utilizada neste trabalho diz respeito à movimentação de caminhões transportadores de granel sólido vegetal no Porto de Santos durante o ano de 2014, englobando dados de janeiro a dezembro. Os dados foram coletados através do Sistema de Gestão de Tráfego de Caminhões (sob responsabilidade da Autoridade Portuária, CODESP), que monitora a movimentação dos caminhões desde a chegada ao pátio regulador até a saída do terminal portuário.

Devido ao vasto volume de dados de movimentação de caminhões no Porto de Santos para o ano de 2014 (559.772 dados originais de entrada de janeiro a dezembro de 2014), foi necessário limitar os meses que seriam analisados, de modo a obter os parâmetros necessários para rodar as simulações. Para este fim, foram analisadas as exportações de grânéis sólidos vegetais realizadas pelo Porto de Santos em 2014, disponíveis nos mensários estatísticos divulgados pela CODESP. As Figuras (23) e (24) trazem

as informações sobre o número de chegadas de caminhões para o ano de 2014 e as exportações de grãos sólidos vegetais pelo Porto de Santos para o mesmo ano.



Figura 23 – Chegadas de caminhões aos Pátios Reguladores em 2014 (dados originais)

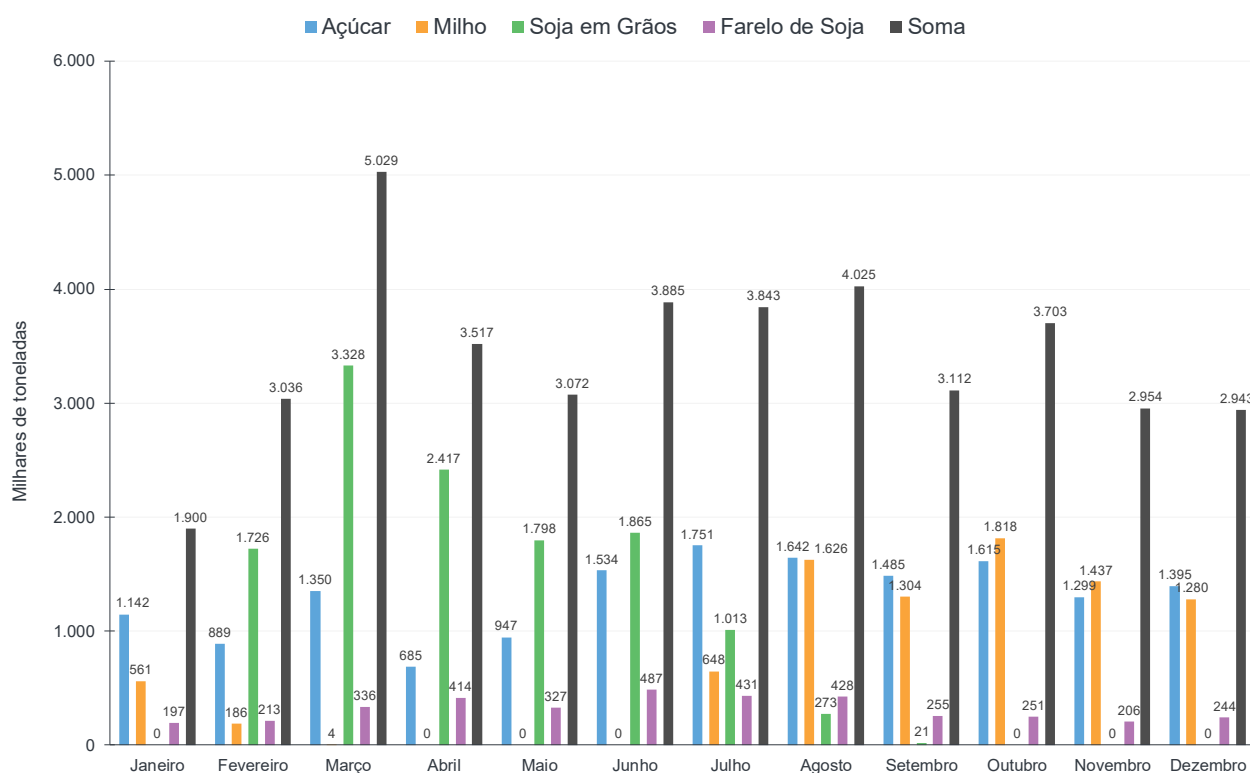


Figura 24 – Exportação de grãos sólidos pelo Porto de Santos em 2014

Fonte: CODESP (2014)

A partir das informações da Figura (23), percebe-se que os meses com maior número de chegadas aos pátios reguladores (Rodopark e Ecopátio) em 2014, a partir dos dados originais da base de dados,

foram os meses de março (92.220), fevereiro (76.604) e abril (68.582). Analogamente, os meses com menor número de chegadas foram setembro (13.217), dezembro (24.989) e janeiro (25.838). A denominação de dados originais refere-se aos dados das planilhas em seu estado original, isto é, sem ter havido nenhum tratamento desses dados, que acabaram por reduzir o número de chegadas em cada mês analisado que poderiam ser consideradas para a identificação dos parâmetros necessários à simulação.

Comparando-se os meses com maior e menor número de chegadas com os dados de movimentação de graneis sólidos vegetais para exportação apresentados (Figura (24)), é possível notar que os meses com maior número de chegadas são os que apresentaram maior presença da soja em grãos como principal produto exportado (março, fevereiro e abril), bem como que os meses com menor número de chegadas são os em que o milho aparece como segundo principal produto exportado, atrás apenas do açúcar, único produto, ao lado da soja em farelo, que apresentou dados de exportação em todos os meses analisados. A coluna referente à soma (Figura (24)) engloba o total de sólidos a granel exportados pelo Porto de Santos no mês correspondente, e não apenas soja (em grãos e farelo), milho e açúcar (produtos como adubo, enxofre, carvão, minério de ferro, trigo, entre outros também são considerados nessa coluna, mas não foram explicitados por não fazerem parte do escopo de graneis vegetais exportados).

Inicialmente, a proposta era de se analisar um mês com alto volume de chegadas de caminhões, um com volume intermediário de chegadas e um com baixo volume, de modo que foram escolhidos os meses de março, maio e setembro de 2014. Entretanto, após a validação dos dados e a obtenção das distribuições dos tempos entre chegadas e tempos de permanência nos terminais (tempo de serviço) para cada mês, observou-se que eles eram bastante diferentes, provavelmente devido ao fato de esses meses terem volume de chegadas muito distintos e principais produtos exportados também diferentes (soja em grãos para março e maio e açúcar para setembro). Desse modo, como já estavam disponíveis os dados validados para os meses de março e maio, foi decidido utilizar o mês de abril em vez do mês de setembro, pois esse trimestre apresenta preponderância do mesmo produto exportado (soja em grãos) e forma uma série temporal contínua (frente uma com um espaço de um mês entre março e maio e de três meses entre maio e setembro).

4.2.2 Validação dos dados

Com a definição do trimestre de março, abril e maio como o período a ser analisado, a próxima etapa era realizar o tratamento (validação) dos dados presentes na base de dados original. Como mencionado anteriormente, nem todos os dados originais eram válidos para serem utilizados na identificação de tempos e distribuições necessários para as simulações e interpretação dos resultados. As informações originais de cada mês possuíam basicamente a seguinte estrutura:

- **Placa:** campo contendo a placa de cada caminhão;
- **Origem/Cliente:** campo com a informação da origem/cliente daquele caminhão;
- **Pátio:** campo contendo a informação de em qual pátio regulador aquele caminhão chegou (Ecopátio ou Rodopark);

- **Data de Chegada ao Pátio:** informação da data de chegada do caminhão ao pátio regulador (dd/mm/aaaa hh:mm);
- **Data de Saída do Pátio:** informação da data de saída do caminhão do pátio regulador (dd/mm/aaaa hh:mm);
- **Terminal:** campo contendo a informação do terminal portuário ao qual o caminhão se destinou;
- **Data de Chegada ao Terminal:** informação da data de chegada do caminhão ao terminal portuário (dd/mm/aaaa hh:mm); e
- **Data de Saída do Terminal:** informação da data de saída do caminhão do terminal portuário (dd/mm/aaaa hh:mm);

Assim, cada mês possuía as informações acima estruturadas em forma de tabela e contendo o número de entradas indicado na Figura (23). O processo de validação se deu da seguinte forma:

- 1 **Validação da data de chegada ao pátio regulador:** o primeiro tratamento realizado foi o de filtrar o campo de data de chegada do caminhão ao pátio regulador de modo a englobar apenas chegadas aos pátios referentes aos dias do mês em questão (março, abril e maio);
- 2 **Validação da data de saída do pátio regulador:** Essa validação foi feita para selecionar apenas saídas dos pátios referentes aos dias do mês em questão (março, abril e maio). Nesse campo, considerou-se também os dois primeiros dias do mês seguinte ao mês em questão de forma a englobar saídas de caminhões que porventura tenham chegado ao final do último dia do mês em questão e tenham permanecido no pátio regulador por um longo período;
- 3 **Validação da data de chegada ao terminal portuário:** da mesma forma que a primeira validação, esse filtro foi realizado para selecionar apenas chegadas aos terminais referentes aos dias do mês em questão (março, abril e maio). A partir dessa validação, o número de dados inválidos (isto é, datas de chegada ou saída em meses incompatíveis com o mês em questão) já se tornava bastante inferior, uma vez que muitos dados já haviam sido expurgados nos dois passos anteriores. Além disso, como apontado no filtro anterior, também foram considerados dados de chegada aos terminais portuários referentes aos dois primeiros dias do mês subsequente ao em questão;
- 4 **Validação da data de saída do terminal portuário:** de forma análoga ao segundo filtro, essa validação foi feita para selecionar apenas saídas dos terminais portuários que diziam respeito aos dias do mês em questão (março, abril e maio), bem como os dois primeiros dias do mês seguinte;
- 5 **Separação dos dados para cada pátio regulador:** esse passo envolveu a criação de planilhas separadas para cada pátio regulador, uma vez que eles são geograficamente separados e compõem sistemas de filas distintos. Neste momento, as entradas que não possuíam pátios designados foram eliminadas.

4.2.3 Definição do terminal portuário analisado

Nesta etapa, os meses que seriam analisados já estavam definidos e dados incompatíveis já haviam sido expurgados com as validações apresentadas na etapa 2. O objetivo dessa etapa era então a identificação de qual terminal portuário seria utilizado nas simulações, de forma a consolidar o sistema de filas apresentado na Figura (14). Após a definição do terminal a ser analisado, os dados ainda foram trabalhados de modo a se obter os parâmetros relevantes para a realização das simulações, apresentados na etapa 4.

Para determinar os terminais que seriam analisados, foi utilizado o critério de relevância daqueles terminais. Isto é, para cada mês e pátio regulador, foi analisada a participação de cada terminal no fluxo de caminhões oriundos daquele pátio regulador. Ao final das validações realizadas na etapa anterior, os resultados mostrados na Tabela (6) foram obtidos. É possível perceber uma notável diminuição nos dados de chegadas de caminhões após os tratamentos realizados na etapa 2. O mês de março tinha originalmente 92.220 dados e, após a validação, 32.722 dados (35,5% do original), enquanto que os de abril e maio permaneceram com 29.146 dados (42,5%) e 30.209 (55,0%), respectivamente.

Tabela 6 – Dados obtidos após validações da etapa 2.

TERMINAL	MARÇO		ABRIL		MAIO	
ECOPÁTIO	20.565		17.628		18.497	
ADM	4.588	22,3%	5.688	32,3%	2.117	11,4%
COPERSUCAR	2.254	11,0%	493	2,8%	1.410	7,6%
RUMO LOGISTICA OPERADORA MULTIMODAL S.A.	7.482	36,4%	4.637	26,3%	8.470	45,8%
SUCOCITRICO CUTRALE	1.997	9,7%	1.560	8,8%	2.745	14,8%
T-GRÃO	956	4,6%	25	0,1%	38	0,2%
TGG	3.288	16,0%	5.225	29,6%	3.717	20,1%
RODOPARK	12.157		11.518		11.712	
FISCHER S/A AGROINDÚSTRIA	1.139	9,4%	693	6,0%	972	8,3%
T-GRÃO	2.818	23,2%	372	3,2%	30	0,3%
TEAG	2.897	23,8%	190	1,6%	0	0,0%
TEG	4.388	36,1%	8.392	72,9%	8.367	71,4%
TERMINAL XXXIX	632	5,2%	593	5,1%	968	8,3%
TERMINAL 12A	283	2,3%	1.278	11,1%	1.375	11,7%
TOTAL	32.722		29.146		30.209	

A partir dos resultados obtidos na Tabela (6), procurou-se escolher algum terminal portuário que apresentasse uma participação relevante em todos os meses. Para o caso do Ecopátio, o terminal da Rumo Logística (com participação de 36,4%, 26,3% e 45,8%) seria um bom candidato, enquanto para o Rodopark, o TEG (com participação de 36,1%, 72,9% e 71,4%) seria outro bom candidato. Além da participação, outro critério utilizado foi o da exclusividade, isto é, o terminal escolhido para as simulações deveria receber apenas caminhões oriundos de um pátio regulador (Ecopátio ou Rodopark). No caso do Rumo Logística, todos os caminhões que foram para esse terminal vieram do Ecopátio, enquanto que todos os que foram para o TEG vieram do Rodopark.

Com o intuito de limitar o escopo de estudo para se conseguir analisar em detalhe as especificidades das simulações e, por fim, obter um modelo robusto, que pudesse então ser expandido para analisar (com apenas alguns ajustes nos parâmetros) outros pátios reguladores e terminais portuários, decidiu-se por escolher o par Rodopark – TEG para ser analisado nas simulações.

4.2.4 Identificação dos parâmetros relevantes às simulações

Definidos o período (março, abril e maio de 2014), pátio regulador e terminal portuário (Rodopark e TEG) a serem analisados, a etapa seguinte era a obtenção dos parâmetros relevantes às simulações: padrão de chegadas, padrão de serviço e tempos de permanência em cada etapa do sistema.

4.2.4.1 Identificação da distribuição que regula os tempos entre chegadas ao Pátio Regulador

Para identificar a distribuição de probabilidades que melhor descreve o tempo entre chegadas ao Rodopark, o primeiro passo foi a ordenação da coluna com a informação da data de chegada ao pátio regulador de modo que a primeira linha da planilha fosse referente ao primeiro registro de chegada de caminhão no dia 01/03/2014 e a última linha representasse o último registro de chegada no dia 31/05/2014. A partir disso, foi calculado o tempo entre chegadas subtraindo-se a data de chegada da linha $i+1$ da data de chegada da linha i para toda a extensão da planilha. Esse tempo foi então transformado em segundos, de maneira que a trabalhar com valores inteiros, e então foi utilizada a solução de análise de dados do programa Arena, *Input Analyzer*, para se identificar a melhor distribuição de probabilidades para o tempo entre chegadas, mostrada na Figura (25).

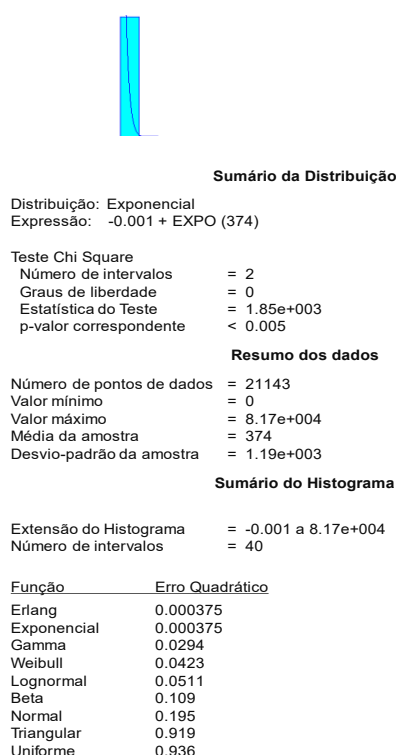


Figura 25 – Distribuição para o tempo entre chegadas ao Rodopark

A Figura (25) mostra que a distribuição que melhor representa o tempo entre chegadas ao Rodopark é uma exponencial com média de 374 segundos. Entretanto, o processo de chegadas em transportes é frequentemente não estacionário, o que significa que a taxa média de chegadas varia de acordo com algum padrão previsível (Hall, 2003). Isto indica que assumir que a taxa de chegadas para qualquer horário do dia é a mesma seria, muito provavelmente, incorreto. Essa variação, no caso analisado neste trabalho, inclui aspectos relacionados a congestionamentos, períodos do dia em que há mais caminhões nas estradas, acidentes, entre vários outros. Para se levar em consideração o fator de chegadas não estacionárias, analisou-se o padrão de chegadas para diferentes faixas de tempo, como mostrado na Tabela (7).

Tabela 7 – Chegadas ao Rodopark por faixa de horário.

FAIXA HORÁRIA	CHEGADAS (MÉDIA)	CHEGADAS (POR HORA)	TEMPO ENTRE CHEGADAS (SEGUNDOS)
Entre 0h e 6h	64	10,67	337,50
Entre 6h e 10h	28	7,00	514,29
Entre 10h e 14h	39	9,75	369,23
Entre 14h e 18h	40	10,00	360,00
Entre 18h e 24h	64	10,67	337,50

Como a distribuição obtida para o tempo entre chegadas é exponencial, isso permite uma liberdade de adaptação maior que se fosse uma outra distribuição, devido a uma importante propriedade da distribuição exponencial. De acordo com Ross (2013), uma propriedade muito útil de variáveis aleatórias exponenciais é o fato de elas continuarem sendo variáveis aleatórias exponenciais quando multiplicadas por uma constante positiva. A partir disso, pode-se realizar as simulações por faixa de horário utilizando-se um tempo entre chegadas exponencial com média igual aos valores demonstrados na última coluna da Tabela (7).

4.2.4.2 Identificação da distribuição que regula os tempos de serviço no Terminal Portuário

A partir da ordenação realizada no item anterior, o processo para determinar o tempo de permanência no terminal portuário consistiu em subtrair a coluna referente ao momento da saída do caminhão i do terminal portuário pelo valor da coluna referente ao momento de chegada desse mesmo caminhão i ao terminal TEG. Após isso, analogamente ao feito anteriormente, os tempos de serviço obtidos foram transformados em segundos de forma a se trabalhar com números inteiros e colocados para análise do *Input Analyzer* para obtenção da distribuição, como mostra a Figura (26).

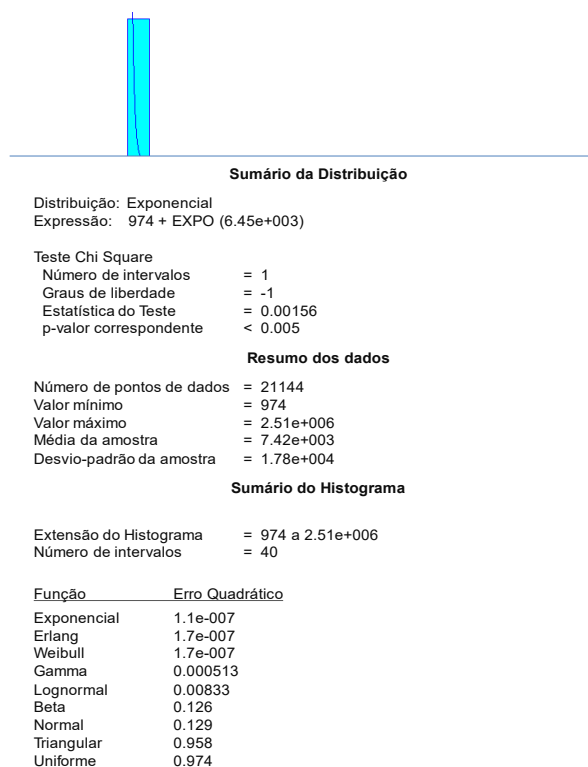


Figura 26 – Distribuição para o tempo de serviço no TEG

A Figura (26) mostra que a distribuição que melhor representa o tempo de serviço no TEG é uma exponencial com média de 6.450 segundos e com deslocamento de 974 ($974 + \text{EXPO}(6.45e+003)$). Entretanto, ao se analisar as características do Terminal Exportador do Guarujá, TEG, observa-se que ele possui uma capacidade máxima de recebimento de 25 mil toneladas por dia, com a média sendo de 20 mil toneladas, e conta com três tombadores (SEP, 2015). Sabe-se que frequentemente para o transporte de grãos o caminhão utilizado possui capacidade de carga útil de aproximadamente 37 toneladas (FLIEHR, 2013), e limite de 57 toneladas de peso bruto total combinado, PBTC, de acordo com legislação brasileira. A partir disso, é possível estimar que, com 20 mil toneladas recebidas diariamente, o terminal portuário realizaria o atendimento de, em média, 540 caminhões por dia (aproximadamente 22,5 caminhões/hora). Utilizando-se essas informações sobre a capacidade e equipamentos do TEG, chega-se a uma estimativa de 160 segundos em média para atender cada caminhão, que é o valor que será utilizado para o tempo de serviço na simulação do cenário atual.

4.2.4.3 Identificação de outros parâmetros relevantes à simulação

Após a identificação das distribuições para as chegadas ao pátio regulador e serviço no terminal portuário, ainda se fazia necessário identificar alguns outros parâmetros importantes para a realização das simulações, como a distribuição que melhor descreve o tempo de permanência no pátio regulador e em trânsito entre o pátio regulador e o terminal portuário. Para esses dois casos, o processo utilizado foi o mesmo do caso do tempo de serviço no terminal portuário (subtração do momento de saída do pátio regulador do momento de chegada ao pátio e a subtração do momento de chegada ao terminal portuário

do momento de saída do pátio regulador), dando como resultado as distribuições apresentadas na Tabela (8).

Tabela 8 – Distribuições para tempo de pátio e trânsito por faixa horária.

FAIXA HORÁRIA	TEMPO DE PÁTIO	TEMPO DE TRÂNSITO
Entre 0h e 6h	666 + GAMMA(5.340, 2.13)	708 + GAMMA(2.770, 3.07)
Entre 6h e 10h	251 + GAMMA(6.160, 1.68)	708 + GAMMA(2.770, 3.07)
Entre 10h e 14h	110 + EXP(9.840)	708 + GAMMA(2.770, 3.07)
Entre 14h e 18h	289 + GAMMA(6.460, 1.52)	708 + GAMMA(2.770, 3.07)
Entre 18h e 24h	94 + GAMMA(5.240, 1.90)	708 + GAMMA(2.770, 3.07)

Essas duas informações são de extrema importância para se iniciar o modelo a ser simulado, isto é, o momento de saída do pátio regulador do primeiro caminhão da simulação é dado pelo momento em que ele chegou ao pátio regulador adicionado ao tempo de pátio (que é dado por um número aleatório que obedece a distribuição obtida no procedimento explicado acima). O mesmo serve para o tempo de trânsito, em que o momento de chegada ao terminal portuário é dado pelo momento de saída do pátio regulador acrescido do tempo de trânsito (gerado aleatoriamente a partir da distribuição obtida). Para as chegadas seguintes, essas informações ainda podem ser utilizadas, mas já se torna possível a subtração de curvas apresentada na Figura (21) para a obtenção dessas informações.

5 MODELO RODOPARK-TEG

Este capítulo apresenta detalhadamente o modelo elaborado para simular o comportamento dos caminhões que chegam ao Pátio Regulador (Rodopark) e são encaminhados para descarregamento no Terminal Portuário (TEG). Além disso, apresenta simulações para o cenário atual, um cenário com melhoria (caracterizado pela aquisição de um tombador adicional) e para um cenário em que o terminal possui desempenho semelhante ao encontrado em portos de referência internacionais. Por fim, são calculados os custos de transporte estimados para cada cenário analisado, a partir de dados referentes ao frete de grãos.

5.1 VISÃO GERAL

As simulações do sistema representado na Figura (14) para o caso do Rodopark e TEG foram feitas no MATLAB a partir da geração de números aleatórios de acordo com as distribuições obtidas nas análises apresentadas no capítulo anterior e de outras informações relevantes (como as da capacidade do terminal portuário). As simulações foram realizadas utilizando-se filas com disciplina FIFO (*first in, first out*), que é o modelo mais comum para esse tipo de aplicação. Isto implica que um caminhão que chegou antes ao pátio regulador deve sair antes do pátio regulador e chegar e sair antes do terminal portuário que um caminhão que chegou ao pátio regulador em um tempo posterior. Esta premissa adotada possibilita análises de desempenho do sistema utilizando-se as curvas de chegadas e saídas acumuladas apresentadas na Figura (21), bem como outras importantes ferramentas da Teoria das Filas.

O principal objetivo das simulações realizadas foi o de gerar gráficos de chegadas e saídas acumuladas como o apresentado na Figura (21). Nas simulações realizadas, a primeira curva (azul) representa as chegadas ao pátio regulador (Rodopark), a segunda curva (vermelho) representa as saídas do pátio regulador, a terceira curva (verde) representa as chegadas ao terminal portuário (TEG) e, finalmente, a quarta curva (laranja) representa as saídas do terminal portuário.

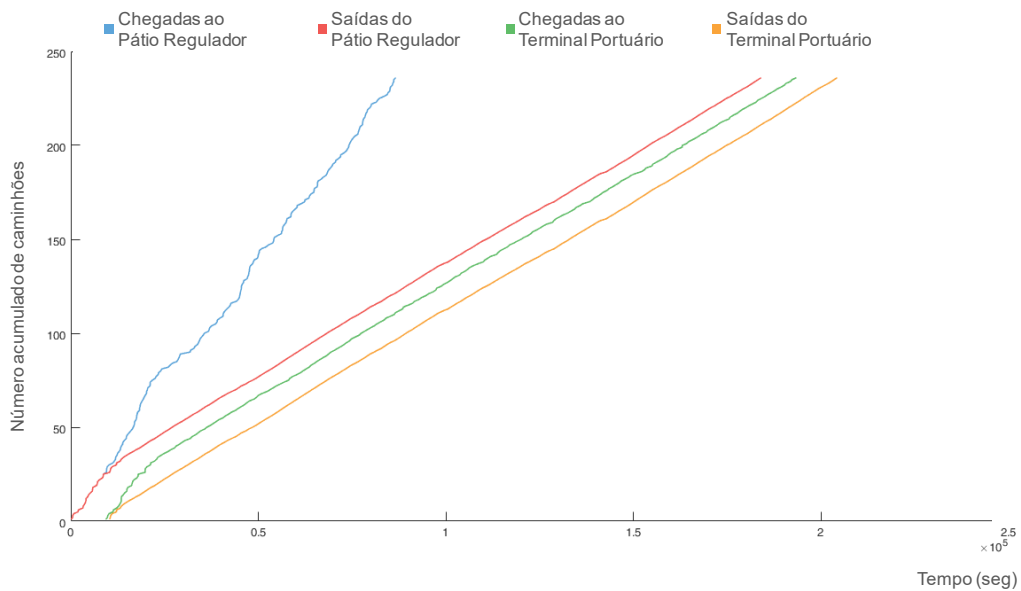


Figura 27 – Diagrama de chegadas e saídas acumuladas (1 repetição)

Para simular o comportamento do sistema ao longo do trimestre analisado, foram realizadas 91 repetições (ou rodadas) ao total, o que representa o número de dias entre 01/03/2014 e 31/05/2014. Cada repetição gera um diagrama como o apresentado na Figura (27), de modo que ao final há 91 curvas de cada cor no diagrama de chegadas e saídas acumuladas. Entretanto, o que geralmente se procura saber em sistemas de filas é o seu desempenho médio, caracterizado por parâmetros como tempo médio de permanência na fila, número médio de caminhões no terminal portuário, número médio de caminhões a saírem do sistema de filas, entre outros. Assim sendo, os parâmetros obtidos em cada repetição foram, ao final, consolidados em parâmetros de desempenho médio do sistema.

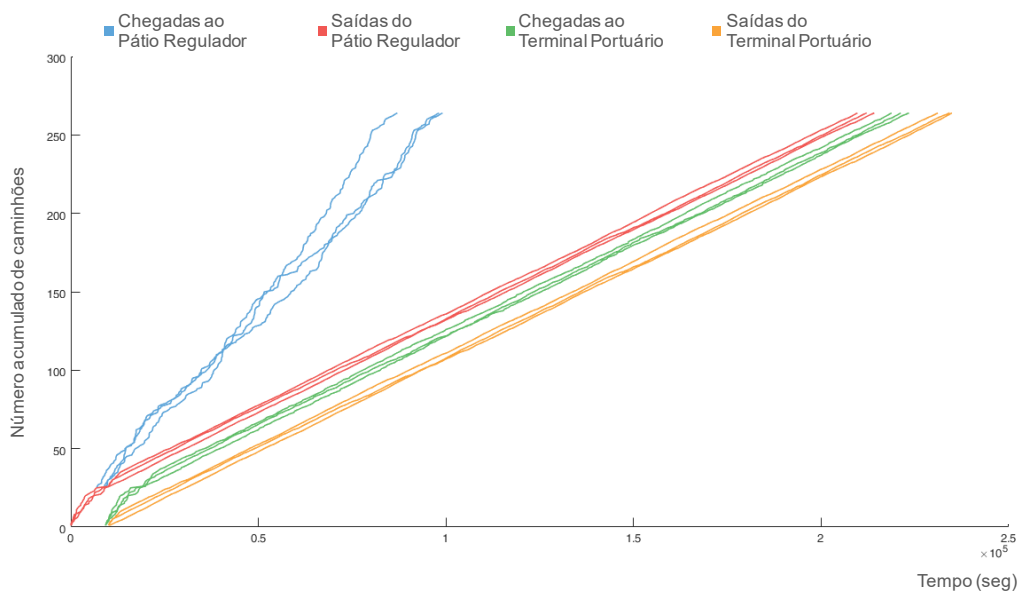


Figura 28 - Diagrama de chegadas e saídas acumuladas (3 repetições)

5.2 SIMULAÇÃO PARA O CENÁRIO ATUAL

A primeira simulação realizada foi a do cenário atual. Considera-se como cenário atual a simulação realizada por um período de 86.400 segundos (24h), repetida 91 vezes (trimestre de março, abril e maio de 2014) e se utilizando dos seguintes parâmetros:

- **Chegadas ao pátio regulador:** tempo entre chegadas que segue uma distribuição exponencial com diferentes médias para diferentes faixas horárias. No código da simulação, foi utilizada a variável *run_time* para controlar o tempo de simulação, de modo que, a partir das distribuições apresentadas na Tabela (7), tem-se que os tempos entre chegadas seguem uma exponencial com médias de: 338 segundos, para $0 \leq t < 21.600$ (0h-6h); 514 segundos, para $21.600 \leq t < 36.600$ (6h-10h); 370 segundos, para $36.600 \leq t < 50.400$ (10h-14h); 360 segundos, para $50.400 \leq t < 64.800$ (14h-18h); e 338 segundos, para $64.800 \leq t < 86.400$ (18h-24h).
- **Tempo de serviço no terminal portuário:** o tempo de serviço no terminal TEG foi simulado considerando-se a presença de três tombadores, que é o equipamento que inclina o caminhão para descarregar os grãos, e a capacidade de recebimento de 20 mil toneladas por dia (média apresentada pelo terminal). Com isso, e considerando-se a utilização de um caminhão com capacidade de 37 toneladas como o padrão, chega-se ao valor de aproximadamente 22,5 caminhões atendidos por hora (ou 160 segundos/caminhão), obtendo-se uma distribuição igual a $974 + \text{EXP}(160)$ para os tempos de serviço no terminal.

5.2.1 Modelagem do Pátio Regulador

Para se simular as chegadas de caminhões ao pátio regulador (Rodopark), foram utilizadas as distribuições apresentadas na Tabela (7) para gerar números aleatórios referentes ao momento das chegadas, em segundos, como apontado no item anterior.

O caso da primeira chegada em cada repetição merece destaque, pois ela tem papel fundamental para a simulação de um sistema do tipo FIFO. Para este caso, o caminhão recebe todas as variáveis referentes aos seus tempos no sistema no começo da simulação, porque eles serão utilizados posteriormente para assegurar que nenhum caminhão que chegue depois saia ou chegue em alguma etapa do sistema apresentado na Figura (14) antes de algum caminhão que tenha entrado no sistema em um tempo anterior. O terminal portuário TEG possui, juntamente com seu vizinho TEAG, um pátio com 50 vagas para caminhões, que servem de pulmão para os terminais (SEP, 2015), de maneira que se simulou que os primeiros 25 caminhões chegassem e saíssem do pátio regulador em tempos iguais, uma vez que poderiam ir direto para o terminal portuário. Após isto, o primeiro caminhão da rodada (de 1 a 91) chega ao terminal portuário no tempo equivalente ao momento de sua saída do pátio regulador acrescido do tempo de trânsito, dado pela distribuição apresentada na Tabela (8). Finalmente, o primeiro

caminhão sai do sistema no tempo dado pelo momento de sua chegada ao terminal portuário adicionado do tempo de serviço, gerado aleatoriamente a partir de uma distribuição do tipo $974 + \text{EXP}(160)$.

Para as chegadas seguintes, o processo consistiu basicamente nos passos:

- **Geração de todas as chegadas ao pátio regulador:** neste momento, já se tem os valores do tempo de chegada e saída do pátio regulador e terminal portuário para o primeiro caminhão. A partir disso, gera-se novas chegadas e tempos de permanência de caminhões no pátio regulador de acordo com a faixa horária apresentada nas Tabelas (7) e (8) enquanto o tempo de chegada de algum caminhão for menor ou igual a 86.400 segundos, isto é, enquanto o tempo de chegada do caminhão for menor ou igual a 24h, que é o tempo de simulação. As chegadas dos caminhões seguintes (2, 3, ..., n) são geradas a partir da chegada do caminhão anterior adicionada do tempo entre chegadas, de acordo com cada faixa horária.
- **Geração de todas as saídas do pátio regulador:** tendo gerado todas as chegadas ao pátio regulador, o passo agora diz respeito a gerar os tempos de saída de todos esses n caminhões do pátio regulador. Para tal, seus tempos de chegada foram adicionados a variáveis aleatórias referentes ao tempo de permanência no pátio de cada caminhão, de acordo com o apresentado na Tabela (8), formando então o tempo de saída dos caminhões.

O processo como um todo referente ao pátio regulador no código da simulação está disponível no Apêndice I deste trabalho.

5.2.2 Modelagem do Terminal Portuário

Neste ponto, todos caminhões que entraram no sistema para cada uma das 91 rodadas já possuíam um tempo de entrada e de saída do pátio regulador, e o primeiro caminhão já possuía, além dos tempos de entrada e saída do pátio regulador (representados pelas variáveis $at_Patio(1,j)$ e $dt_Patio(1,j)$, respectivamente, para j representando as repetições), os tempos de entrada e saída do terminal portuário (por sua vez representados pelas variáveis $at_Terminal(1,j)$ e $dt_Terminal(1,j)$). Todavia, algumas verificações tiveram de ser feitas para os caminhões 2, 3, ..., n de cada rodada de forma que recebessem tempos de chegada e saída do terminal portuário condizentes com uma simulação FIFO. Os passos realizados (seção 3 do código) foram, para cada rodada:

- **Adequação dos tempos de saída do pátio regulador para os primeiros 25 caminhões:** como mencionado anteriormente, o terminal TEG possui, juntamente com o seu terminal vizinho TEAG, como pode ser visto na Figura (13), um total de 50 vagas para caminhões. Dessa forma, assumindo-se metade das vagas para cada, os primeiros 25 caminhões a entrarem no sistema em cada rodada são imediatamente encaminhados para o terminal portuário, uma vez que há disponibilidade para atendimento.

- **Geração de todas as chegadas ao terminal portuário:** a geração das chegadas dos caminhões 2, 3, ..., n foi feita a partir do tempo de saída do respectivo caminhão do pátio regulador, $dt_Patio(i,j)$, adicionado do tempo de trânsito, gerado a partir da distribuição apresentada na Tabela (8).
- **Geração de todas as saídas do terminal portuário:** por fim, a geração das saídas dos caminhões 2, 3, ..., n do terminal portuário (e do sistema) foi realizada a partir do tempo de chegada do referido caminhão ao terminal adicionado do tempo de serviço que, no caso da situação atual, com três tombadores, representa um número aleatório gerado de acordo com uma distribuição igual a $974 + EXP(160)$.

5.2.3 Desempenho do sistema na modelagem da situação atual

Ao se analisar o comportamento de filas, geralmente não se tem interesse em observar os tempos de chegada e saída de cada cliente em particular, mas sim especificar algumas características que sejam possíveis de serem reproduzidas (NEWELL, 1982). Em geral, há três características de interesse em um sistema de filas, segundo Gross et al. (2008): (i) medidas de tempo que clientes podem ter de esperar; (ii) medidas de como clientes podem se acumular no sistema; e (iii) medidas de ociosidade no sistema. Dessa forma, algumas medidas de desempenho do sistema foram calculadas, utilizando-se de subtração de curvas como mostrado na Figura (21).

Com relação às filas observadas no modelo, foram calculados o número médio de caminhões no pátio regulador, em trânsito e no terminal portuário, bem como o número esperado de caminhões no sistema (representado pela soma dos números no pátio, trânsito e terminal e simbolizado pela letra L) e tamanho esperado da fila (representada pela soma dos números no pátio regulador e em trânsito e simbolizada por Lq). Assim, foram gerados gráficos que mostram essas variáveis ao longo do tempo de simulação, representados nas Figuras (29) e (30).

Os tempos de permanência no pátio regulador, trânsito, e terminal portuário, por sua vez, foram analisados para cada rodada, de modo a se obter o tempo médio na fila, Wq (tempo no pátio adicionado do tempo em trânsito) e no sistema, W (soma dos tempos de pátio, trânsito e terminal) para um conjunto de n caminhões. No caso das simulações, n representa o número máximo de chegadas em cada simulação. Os resultados observados estão representados nas Figuras (31) e (32).

Por fim, é interessante saber a condição do sistema ao final de cada rodada, uma vez que os tempos de espera e número de caminhões em cada etapa do sistema sofrem alterações ao longo da simulação. Dessa forma, os parâmetros de desempenho médio do sistema para o último caminhão a entrar no sistema em cada rodada também foram analisados e encontram-se na Tabela (9). São esses parâmetros descritos acima que serão utilizados para se analisar as alterações observadas no sistema com a inserção de tombadores adicionais ao terminal portuário, assim como os custos associados ao tempo de espera no sistema, apresentados ao final deste capítulo.

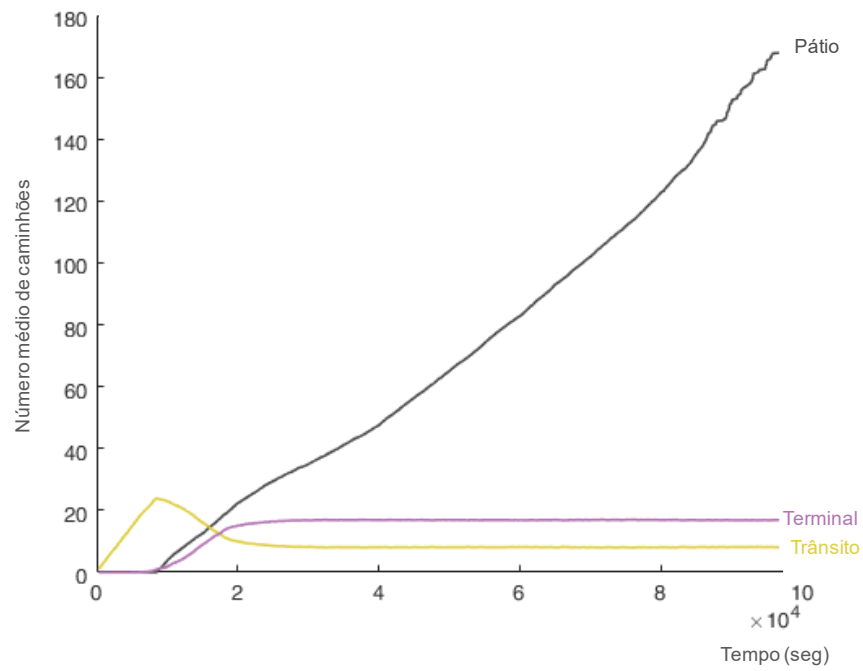


Figura 29 – Número médio de caminhões no pátio regulador, em trânsito e no terminal portuário

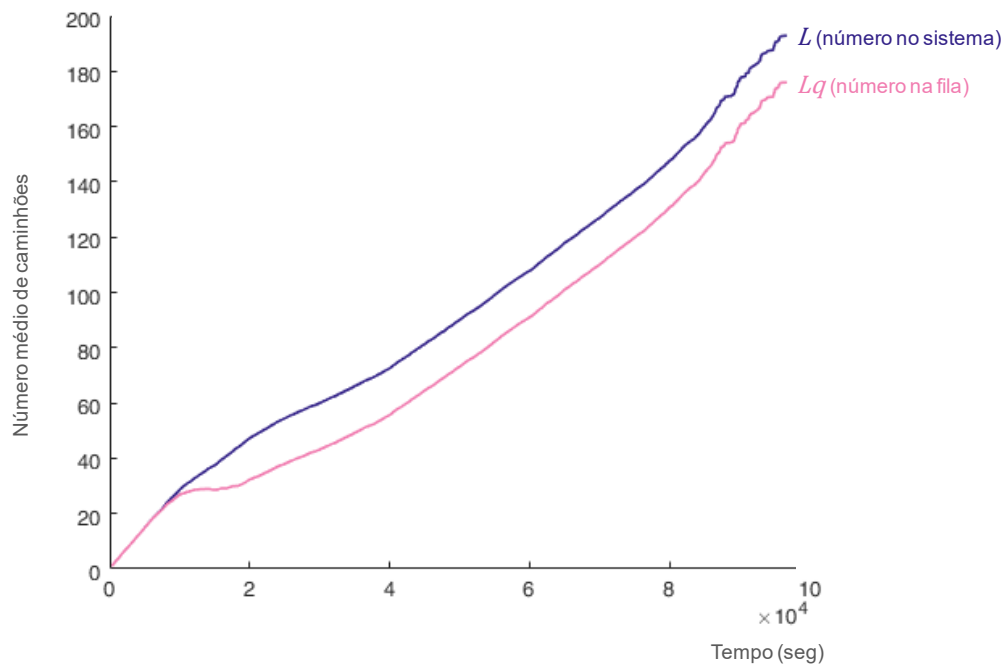


Figura 30 – Número médio de caminhões na fila (L_q) e no sistema (L)

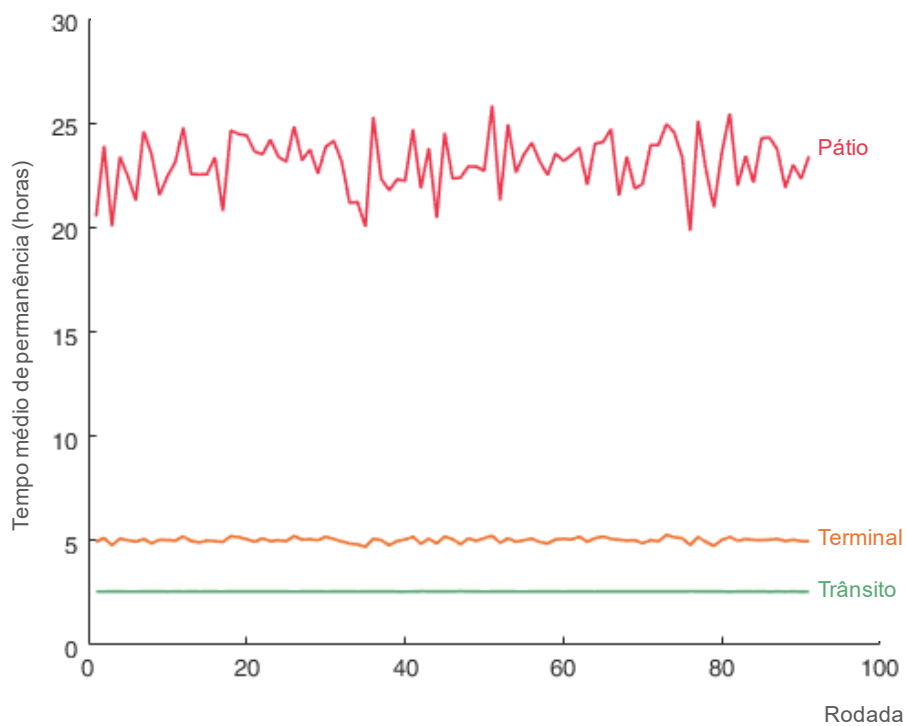


Figura 31 – Tempo médio de permanência no pátio regulador, em trânsito e no terminal portuário

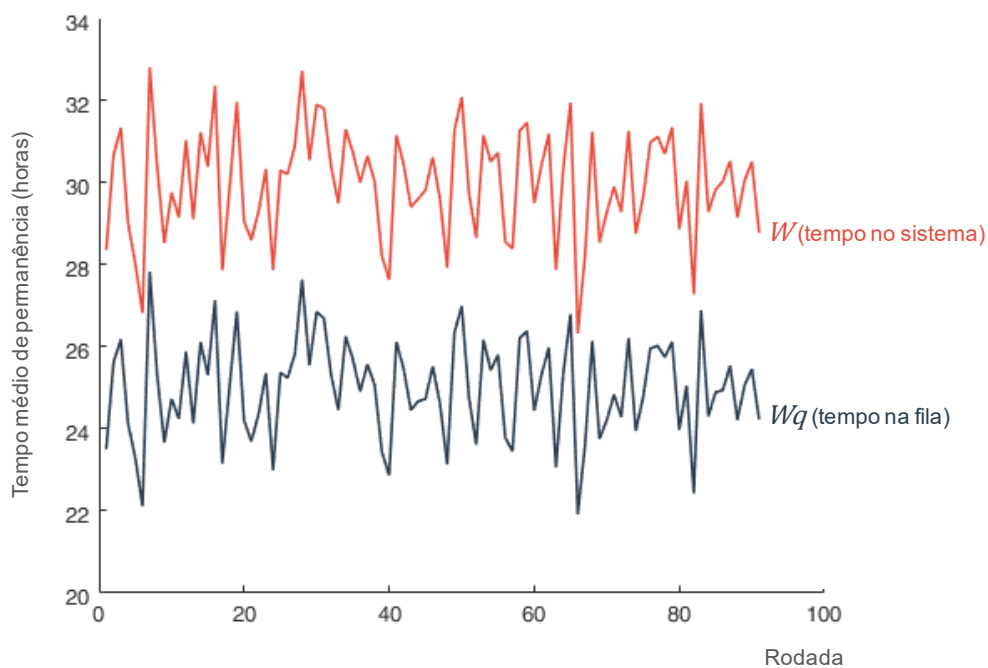


Figura 32 – Tempo médio de permanência na fila (W_q) e no sistema (W)

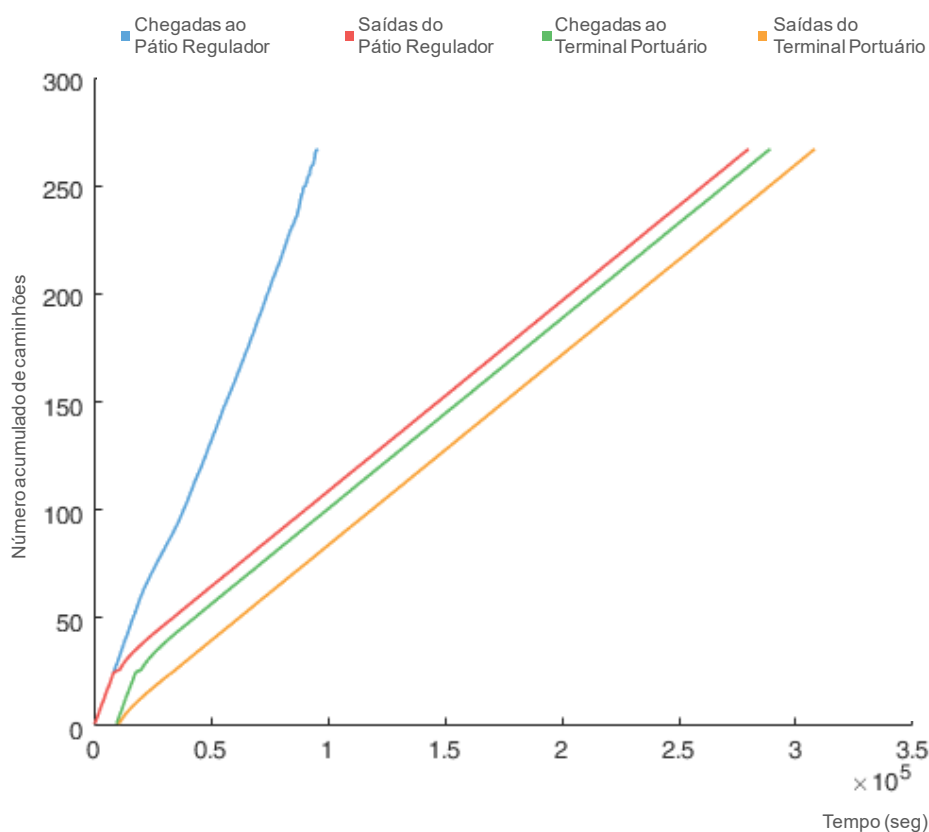


Figura 33 - Diagrama de chegadas e saídas acumuladas (média de 91 repetições, 3 tombadores)

5.3 SIMULAÇÃO PARA O CENÁRIO COM 4 TOMBADORES

O processo detalhado para três tombadores (cenário atual) é o mesmo utilizado para a simulação com um tombador adicional, com a única diferença sendo a distribuição para os tempos de atendimento no terminal. Como o terminal TEG possui capacidade média de recebimento inferior a sua capacidade máxima, é possível que a capacidade de atendimento atual aos caminhões seja inferior à capacidade física instalada no terminal portuário, gerando uma subutilização dessa capacidade instalada. A partir da informação da capacidade média de recebimento de 20 mil toneladas por dia, foi simulado para o caso do cenário atual que o terminal, com três tombadores, seria capaz de suprir apenas essas 20 mil toneladas ao dia, enquanto que, com a aquisição de um quarto tombador, o terminal portuário seria capaz de operar em sua capacidade de recebimento máxima (25 mil toneladas ao dia). Uma capacidade de 20 mil toneladas é equivalente a aproximadamente 22,5 caminhões atendidos por hora (ou 160 segundos para cada caminhão). Com a alteração para 25 mil toneladas por dia, o número de caminhões atendidos subiria para aproximadamente 28 por hora (ou 128 segundos para cada caminhão), o que significa que o tempo de atendimento com três tombadores é cerca de 25% maior que com quatro tombadores. A partir disto, a distribuição para os tempos de serviço no terminal portuário foi ajustada para refletir essa mudança, aproveitando-se o fato de que uma variável aleatória exponencial permanece assim quando multiplicada por uma constante positiva, como mencionado anteriormente. Dessa forma, o tempo de serviço no terminal para quatro tombadores foi estimado como sendo regido por uma variável aleatória

com distribuição igual a $730 + \text{EXP}(128)$. As Figuras (34) a (38) e a Tabela (9) trazem os parâmetros de desempenho do sistema obtidos com a simulação para quatro tombadores.

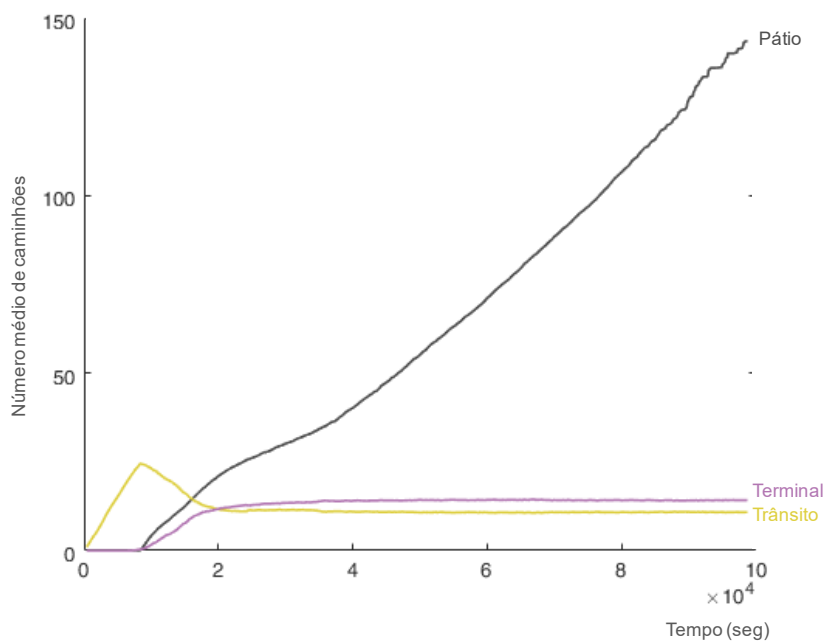


Figura 34 - Número médio de caminhões no pátio regulador, em trânsito e no terminal portuário

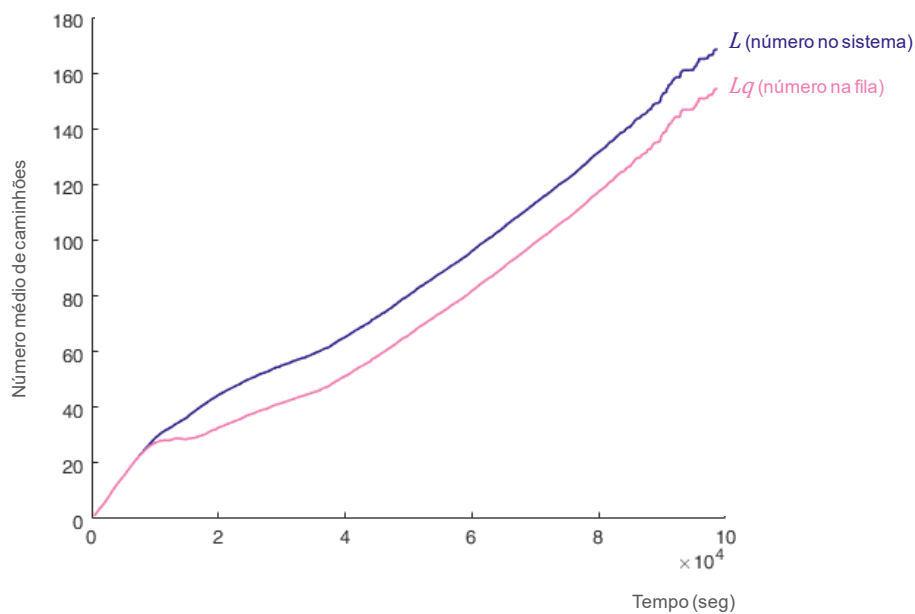


Figura 35 - Número médio de caminhões na fila (L_q) e no sistema (L)

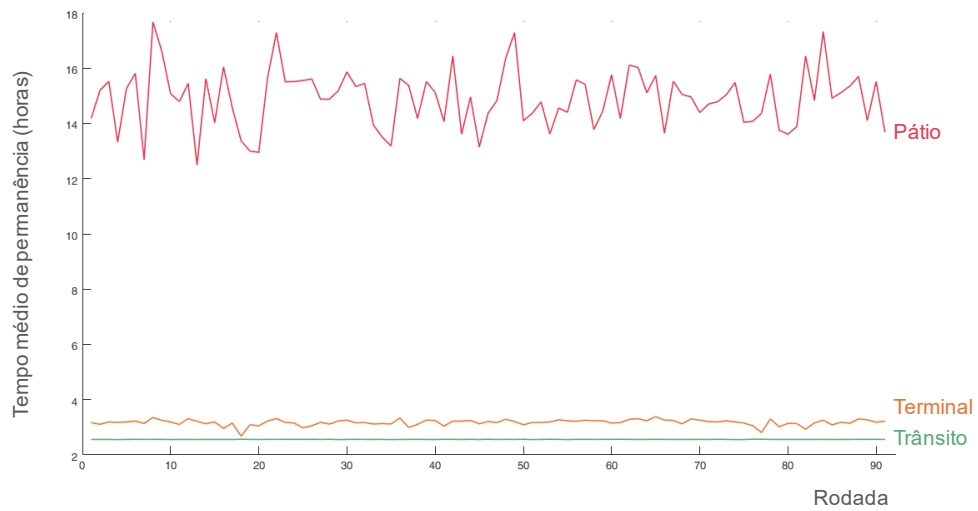


Figura 36 - Tempo médio de permanência no pátio regulador, em trânsito e no terminal portuário

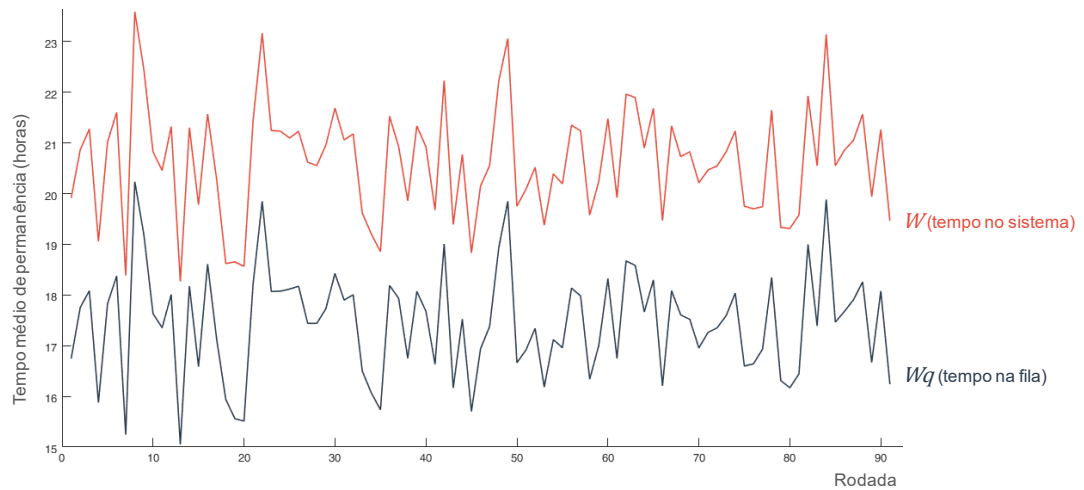


Figura 37 - Tempo médio de permanência na fila (W_q) e no sistema (W)

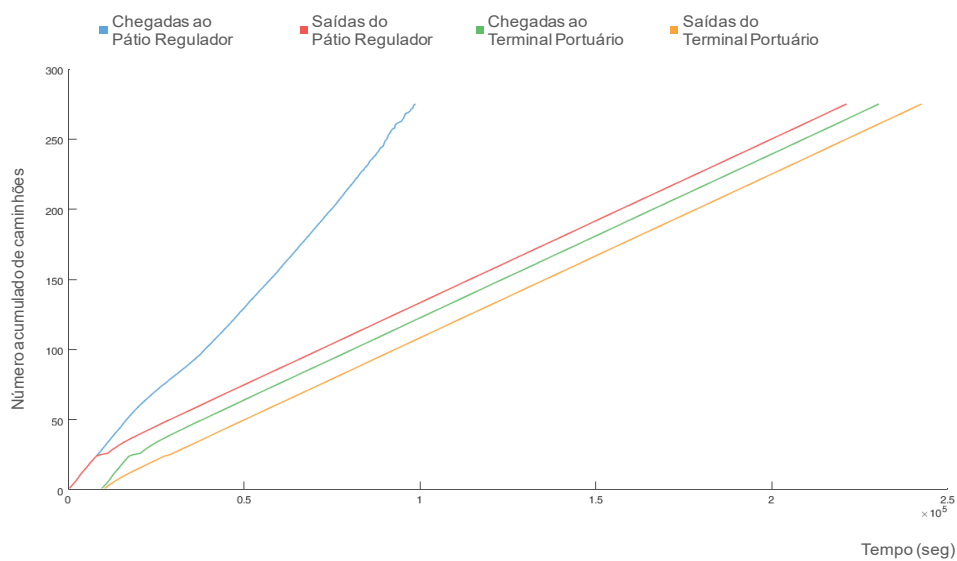


Figura 38 - Diagrama de chegadas e saídas acumuladas (média de 91 repetições, 4 tombadores)

Tabela 9 - Parâmetros de desempenho do sistema com 3 e 4 tombadores

Parâmetro	3 tombadores	4 tombadores
Número de vagas no Terminal	25,00	25,00
Máximo de chegadas	267,00	275,00
Nº médio de caminhões Pátio (final do dia)	162,85	143,59
Nº médio de caminhões Terminal (final do dia)	16,76	14,16
Nº médio de caminhões Trânsito (final do dia)	8,24	10,84
Nº médio saídas do sistema (final do dia)	79,15	106,41
Nº médio de caminhões na fila (final do dia) - L_q	171,09	154,43
Nº médio de caminhões no sistema (final do dia) - L	187,85	168,59
Tempo médio de permanência Pátio (horas)	22,44	14,89
Tempo médio de trânsito (horas)	2,56	2,56
Tempo médio de permanência Terminal (horas)	4,98	3,18
Tempo médio de espera na fila (horas) - W_q	25,00	17,46
Tempo médio de espera no sistema (horas) - W	29,98	20,64

5.4 ESTIMATIVA DOS CUSTOS DE TRANSPORTE ASSOCIADOS

Na área de Teoria das Filas, há custos associados a atrasos, bem como custos relacionados ao fornecimento de uma maior taxa de serviço em qualquer gargalo (NEWELL, 1982). Desta forma, análises de custos geralmente se resumem a um *trade-off* entre fornecer um melhor serviço aos clientes *versus* o custo associado a propiciar mais capacidade de atendimento (GROSS et al., 2008). No presente trabalho, os custos associados a atrasos ou tempo que clientes permanecem aguardando na fila geram não apenas simples aborrecimentos às pessoas, desistência de consumo do serviço ou outros efeitos menores, mas também perda de competitividade do país em nível internacional. Como apontado por Guasch (2011), uma das maiores fontes de custos logísticos para os países da América Latina e Caribe corresponde à infraestrutura física para escoamento deficiente (em especial rodovias e portos), que faz com que esses custos representem mais de 15% do PIB desses países.

No caso do período analisado, o granel sólido vegetal com maior participação foi a soja, cujo preço no mercado internacional é regulado na Bolsa de Chicago, EUA. Deste modo, os produtores têm de descontar todo o custo do transporte das fazendas até os portos para obterem sua rentabilidade. Sabendo-se que o custo associado ao transporte desempenha um papel central na estrutura total de custos incorridos no escoamento da produção para os portos, ele foi escolhido para ser analisado. Custos de transporte podem ser expressos de diferentes formas, como custo por unidade de distância, custo por viagem, custo por item (ou outra medida equivalente), custo por tempo, entre outros. Para o presente trabalho, foi considerado o custo relacionado ao frete de duas das principais cidades em Mato Grosso produtoras de grãos vegetais para o Porto de Santos, Rondonópolis e Sorriso. Como mencionado

anteriormente, o modo de transporte escolhido desempenha papel fundamental no custo associado ao transporte, e, para as análises mostradas a seguir, serão estimados os custos assumindo-se transporte rodoviário na totalidade do trajeto entre origem e destino. Os dados encontram-se apresentados na Tabela (10) e foram retirados do website do Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária (IMEA) para os meses de março, abril e maio de 2014, sempre representando os primeiros e últimos dados disponíveis para cada mês.

Tabela 10 – Preço (R\$/ton.) do frete para diferentes datas e custos médios

TRAJETO	03/03/14	31/03/14	07/04/14	28/04/14	05/05/14	19/05/14	Custo médio (R\$/ton.)	Custo médio (R\$/caminhão)
Rondonópolis - Santos	240,00	210,00	200,00	170,00	170,00	200,00	198,33	7.338,33
Sorriso - Santos	300,00	300,00	300,00	260,00	260,00	250,00	278,33	10.298,33

Fonte: IMEA (2014)

A estimativa de preço do frete utilizada para os cálculos representa a média da última coluna, R\$ 8.818,33 por caminhão, considerando-se caminhões com capacidade de 37 toneladas. Analisando-se então o tempo médio de viagem entre essas cidades e o Porto de Santos, tem-se os valores da Tabela (11).

Tabela 11 – Tempo médio de trânsito

Trajetos	Tempo médio de viagem (dias)
Rondonópolis - Santos	5
Sorriso - Santos	6

Fonte: FLIEHR (2013)

Por fim, a partir de informações dos mensários estatísticos da CODESP para os meses de 2014, foi analisada a participação da soja no total de exportações, bem como a participação do estado de Mato Grosso entre as origens dos fluxos. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Tabela (12).

Tabela 12 – Participação da soja e do estado de Mato Grosso nas exportações pelo Porto de Santos

MOVIMENTAÇÃO	Acum. jan - fev (ton.)	Acum. jan - mai (ton.)	Estimativa Acum. mar - mai (ton.)	Participação Soja	Participação Mato Grosso
Exportação (total)	9.874.048	29.767.459	19.893.411		
Soja em grãos	2.140.747 (52,82% de MT)	10.851.605 (55,00% de MT)	8.710.858	43,79%	53,91%

FONTE: CODESP (2014)

A partir dos dados da Tabela (11) e a reportagem “Rumo ao Porto”, que acompanhou o trajeto de um caminhoneiro desde Sorriso-MT até o Porto de Santos (G1, 2013), foi estimado um tempo de viagem médio de 120 horas até a cidade de Cubatão, onde encontram-se os pátios reguladores Ecopátio e Rodopark. A partir disso, e com a estimativa do preço do frete de 8.818,33 por caminhão (37 toneladas), chega-se a uma estimativa de custo de R\$ 73,50 por hora por caminhão. Com estas informações, foi analisado o fluxo de caminhões pelo sistema de filas formado pelo Rodopark e TEG para três cenários: simulação para o cenário atual (três tombadores), simulação para o cenário com melhoria (quatro

tombadores) e simulação para o cenário em que o terminal possui desempenho semelhante ao encontrado em portos internacionais de referência.

5.4.1 Análise dos custos para a simulação com três tombadores (cenário atual)

De acordo com o apresentado no item anterior, os custos de transporte podem ser estimados de acordo com a seguinte equação:

$$C = n \times s \times m \times p \times t \quad (5)$$

Em que:

- C = custos de transporte estimados.
- n = número de caminhões a entrarem no sistema (dado pelo máximo de chegadas por repetição multiplicado pelo número de repetições, 91, que representa o número de dias no trimestre analisado).
- s = participação percentual da soja nas exportações dos meses de março, abril e maio de 2014, que representa 43,79% (disponível na Tabela (12)).
- m = participação percentual do Mato Grosso nas exportações de soja verificadas no trimestre, que representa 53,91% (disponível na Tabela (12)).
- p = preço do frete estimado de Mato Grosso para Santos, que representa R\$ 73,50/caminhão-hora.
- t = tempo total estimado, que incorpora o tempo de viagem entre Mato Grosso e Santos (120 horas) acrescido do tempo de permanência no sistema (W).

Os custos de transporte estimados para o trimestre para o cenário atual seriam, portanto:

$$\begin{aligned} C &= n \times s \times m \times p \times t \\ &= (24.297) \times (0,4379) \times (0,5391) \times (73,50) \times (120 + 30) \\ &= R\$ 63.237.621,79 \end{aligned}$$

O que representa um valor aproximado de R\$ 694.918,92 por dia. Neste caso, os custos implícitos associados ao tempo médio de permanência no sistema representam cerca de R\$ 12.647.524,36 (ou 20% do custo total). Por fim, fazendo-se uma estimativa anual simples, os custos estimados alcançariam a cifra de R\$ 252.950.487,17, uma vez que o valor de R\$ 63.237.621,79 foi obtido para três meses.

5.4.2 Análise dos custos para a simulação com quatro tombadores (cenário com melhoria)

A simulação com quatro tombadores (representando uma melhoria no terminal portuário que ampliaria sua capacidade de recebimento para 25 mil toneladas por dia), por sua vez, apresenta uma redução no tempo médio de permanência no sistema (W , de 30 horas, com três tombadores, para quase 21 horas, com quatro) e aumento do número de chegadas por dia, representado aqui pelo número máximo de chegadas, de 267 para 275, acumulando um total de 25.025 caminhões no trimestre (728 a mais que com três tombadores). Com isso, os custos estimados para o trimestre seriam:

$$\begin{aligned} C &= n \times s \times m \times p \times t \\ &= (25.025) \times (0,4379) \times (0,5391) \times (73,50) \times (120 + 21) \\ &= R\$ 61.224.439,08 \end{aligned}$$

O que representa um valor aproximado de R\$ 672.796,03 por dia. No caso de quatro tombadores, os custos implícitos associados ao tempo médio de permanência no sistema representam cerca de R\$ 9.118.533,48 (ou 14,89% do custo total). A projeção anual seria de cerca de R\$ 244.897.756,30, representando uma economia de R\$ 8.052.730,86 ao ano, quando comparado ao valor anual com três tombadores (cerca de 3,2% menor).

O custo associado à aquisição de um tombador, obtido através de pesquisa na internet e contato com dois fabricantes, varia de acordo com diversos fatores, como peso do caminhão, local de instalação, tipo de tombador (fixo ou móvel), comprimento do tombador, tipo de travamento, entre outros. Para o objetivo deste trabalho, foram obtidas estimativas de custos para aquisição de um tombador com capacidade de 60 a 80 toneladas entre R\$ 400 mil e R\$ 600 mil, de forma que será utilizado o valor intermediário de R\$ 500 mil para os cálculos de custos.

No caso da aquisição de um tombador adicional (de três para quatro) para o terminal portuário analisado, o investimento seria equivalente a cerca de R\$ 500 mil, enquanto que os custos logísticos associados teriam uma redução anual de cerca de R\$ 8 milhões (252,9 milhões para três tombadores para o ano menos 244,9 milhões para quatro tombadores), ou aproximadamente R\$ 671 mil ao mês. Assim, a redução nos custos associados ao tempo de permanência dos caminhões no sistema no período de um mês já seria superior ao valor investido para adquirir o tombador adicional. Obviamente, não foram levados em consideração custos relacionados à infraestrutura para a instalação do tombador; contudo, observa-se os possíveis ganhos a serem obtidos neste processo de investimento no sistema portuário.

5.4.3 Análise do investimento necessário para reduzir o tempo de serviço no terminal portuário ao padrão encontrado em países de referência

Como última análise, será considerado o investimento que teria de ser realizado, aqui representado pela aquisição de tombadores adicionais, para reduzir o tempo de serviço no terminal portuário a níveis observados em portos de referência fora do Brasil. Nos portos de Los Angeles e Long Beach, por exemplo, os tempos médios de permanência no terminal variam entre 80 minutos e 100 minutos, de forma geral, como pode ser observado na Figura (39).

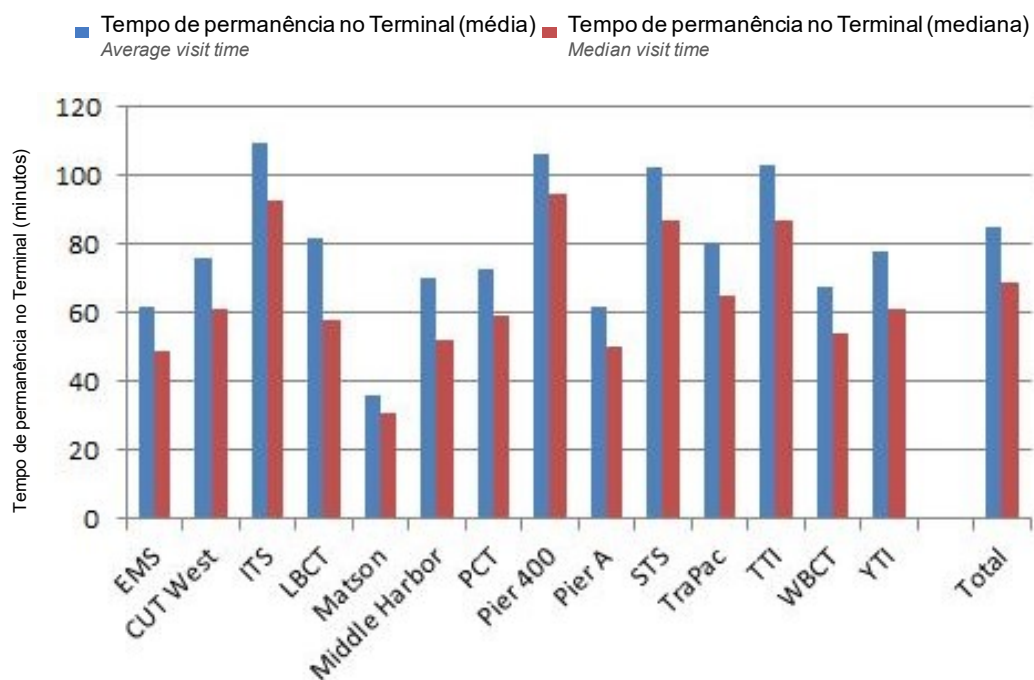


Figura 39 – Tempos de permanência no terminal portuário (abril 2016)

Fonte: The Journal of Commerce (2016)

Para a realização dessa análise, duas das restrições anteriormente impostas foram relaxadas: a capacidade máxima de recebimento do TEG (de 25 mil toneladas ao dia) e o número de vagas no terminal para que alguns caminhões aguardem atendimento (de 25 vagas para o TEG). No Plano Mestre do Porto de Santos, é apontada a presença de duas instalações para armazenagem de granéis sólidos para o TEG, como mostra a Tabela (13).

Tabela 13 – Infraestrutura de armazenagem do TEG

Empresa	Carga	Tipo de instalação	Capacidade (ton.)
TEG	Granéis Sólidos	Armazém de três células	60 mil
TEG	Granéis Sólidos	Armazém de duas células	30 mil

Fonte: SEP (2015)

As informações da Tabela (13) apontam que o TEG possui capacidade física para armazenagem bem superior à capacidade máxima de recebimento dada, de 25 mil toneladas por dia. É possível, portanto,

que investimentos em melhoria na eficiência do terminal expandam essa capacidade de recebimento. Para se obter a distribuição para o tempo de serviço no terminal portuário com tombadores adicionais, calculou-se a capacidade média de cada tombador. Com 20 mil toneladas recebidas diariamente, cada tombador é capaz de atender uma média de 6.667 toneladas. Assim, com a aquisição de um quinto tombador, a capacidade de recebimento passaria para aproximadamente 33.333 toneladas por dia. Com seis tombadores, a capacidade passaria para 40.000 toneladas diárias. A partir dessas informações, calculou-se o número de caminhões que seriam atendidos por dia com base nessas novas capacidades (assumindo 37 toneladas de carga para cada caminhão), e finalmente estimando o tempo em segundos necessário para atender cada caminhão nessas novas condições, como mostra a Tabela (14).

Tabela 14 – Capacidades e distribuições de tempo de serviço para vários números de tombadores

Nº tombadores	Capacidade de recebimento (ton./dia)	Distribuição para tempo de serviço
3	20 mil	974 + EXP(160)
4	25 mil	730 + EXP(128)
5	33,3 mil	486 + EXP(96)
6	40 mil	389 + EXP(80)

Com relação ao número de vagas existentes no pátio que os terminais TEG e TEAG dividem, com capacidade de 50 vagas, as simulações realizadas assumiram uma divisão igualitária para cada terminal. Isto é, TEG e TEAG utilizando, cada um, 25 vagas no pátio em questão. Entretanto, investimentos que melhorem o desempenho do TEG provavelmente fariam com que os caminhões fossem liberados do pátio regulador com uma taxa maior (uma vez que o terminal estaria atendendo os caminhões mais rápido). Assim, neste cenário, foi considerado que o TEG utilizaria uma parcela superior das vagas, para poder acomodar a demanda maior (em vez de 25 vagas para o TEG, foi realizada a simulação considerando 35 vagas para o TEG, ou 70% do total).

Os resultados obtidos nas simulações para os casos com cinco e seis tombadores estão representados na Tabela (15).

Tabela 15 - Parâmetros de desempenho do sistema com 5 e 6 tombadores

Parâmetro	5 tombadores	6 tombadores
Número de vagas no Terminal	35,00	35,00
Máximo de chegadas	280,00	279,00
Nº médio de caminhões Pátio (final do dia)	91,08	58,14
Nº médio de caminhões Terminal (final do dia)	19,09	15,17
Nº médio de caminhões Trânsito (final do dia)	15,90	19,82
Nº médio saídas do sistema (final do dia)	153,91	185,85
Nº médio de caminhões na fila (final do dia) - Lq	106,98	77,76
Nº médio de caminhões no sistema (final do dia) - L	126,08	93,14
Tempo médio de permanência Pátio (horas)	5,50	3,04
Tempo médio de trânsito (horas)	2,56	2,57
Tempo médio de permanência Terminal (horas)	2,70	1,55
Tempo médio de espera na fila (horas) - Wq	8,06	5,62
Tempo médio de espera no sistema (horas) - W	10,76	7,17

Analisando-se a Tabela (15), percebe-se que o tempo médio de permanência no terminal portuário com seis tombadores já possui um valor dentro dos padrões encontrados em portos de referência fora do Brasil, como mostra a Figura (39). O tempo de permanência no pátio regulador apresenta também quedas acentuadas para as simulações com cinco e seis tombadores.

Os custos relacionados ao caso com seis tombadores seriam, portanto:

$$\begin{aligned}
 C &= n \times s \times m \times p \times t \\
 &= (25.389) \times (0,4379) \times (0,5391) \times (73,50) \times (120 + 7) \\
 &= R\$ 55.947.531,91
 \end{aligned}$$

O que representa um valor aproximado de R\$ 614.808,04 por dia. No caso de seis tombadores, os custos implícitos associados ao tempo médio de permanência no sistema representam cerca de R\$ 3.083.722,23 (ou 5,51% do custo total). A projeção anual seria de cerca de R\$ 223.790.127,64, cerca de 11,53% inferior ao cenário com três tombadores (R\$ 252.950.487,17). A economia representada por um sistema com esse desempenho superior (com seis tombadores) representaria cerca de R\$ 29.160.359,53 por ano (versus três tombadores). O investimento associado representa o custo de aquisição de três tombadores, isto é, cerca de R\$ 1,5 milhão, e, novamente, é inferior à redução estimada mensal de custos de transporte (cerca de R\$ 2.430.029,96).

6 CONCLUSÃO

Este capítulo retoma o contexto no qual as análises foram realizadas, reforçando a importância que a infraestrutura logística de um país tem em sua competitividade. Além disso, mostra a síntese dos resultados obtidos nas simulações para o sistema de filas Rodopark-TEG e apresenta sugestões para trabalhos futuros nesta área.

O Porto de Santos finalizou o ano de 2015 como o principal terminal de carga de contêineres da América Latina (CEPAL, 2016), sendo um ator com papel crucial na competitividade brasileira, fortemente dependente da exportação de commodities, em especial soja e minério de ferro. A infraestrutura logística de um país influencia diretamente a sua lucratividade na comercialização desse tipo de produto, e os diversos gargalos logísticos brasileiros impactam negativamente a sua competitividade. Enquanto países como os Estados Unidos possuem custos logísticos que giram em torno de 8% de seu PIB, no Brasil esse valor chega a 15% do PIB ou mais, sendo que o principal fator é a forte dependência do modo rodoviário para o escoamento da produção, frente ao predomínio das modalidades ferroviária e hidroviária nos EUA, que são muito mais econômicas. A ineficiência logística do Brasil resulta em um custo quase duas vezes mais caro para se exportar aqui que nos Estados Unidos².

Ineficiências nas operações de sistemas portuários também contribuem para o valor bastante superior do custo de exportação brasileiro, uma vez que o tempo que caminhões permanecem no sistema portuário influencia o número de vezes que os caminhões conseguem completar o ciclo de buscar a carga nos produtores e levar até o terminal portuário para carregamento nos navios. O tempo de permanência no sistema possui, portanto, custos associados, sejam eles diretos (como pagamento de diárias em estacionamentos) ou indiretos (relacionados ao custo de oportunidade daquele tempo).

A abordagem de pesquisa deste trabalho buscou analisar o impacto que o tempo de permanência dos caminhões no sistema portuário de Santos possui nos custos de transporte, estimados a partir de dados de frete de grãos do estado do Mato Grosso para Santos, assim como dados de movimentação de soja pelo Porto nos meses de março, abril e maio de 2014. A partir de dados de movimentação de caminhões para o trimestre através do sistema apresentado na Figura (14), foram obtidas as distribuições de probabilidades necessárias para a realização das simulações do sistema de filas, do tipo FIFO (*first in, first out*).

² Baseado no indicador do Banco Mundial e mensurado em dólares americanos por contêiner de 20 pés (US\$/contêiner). Os dados disponíveis para o ano de 2014 apontam um custo de US\$ 2.322,8/contêiner para o Brasil, frente a um custo de US\$ 1.224,0/contêiner para os Estados Unidos. Mais detalhes sobre o indicador podem ser encontrados em: < <http://data.worldbank.org/indicator/IC.EXP.COST.CD> >. Acesso em 17 de junho de 2016.

Análises foram realizadas para estimar os custos de transporte associados para simulações de três cenários: (i) cenário considerando a situação atual (três tombadores); (ii) cenário com melhoria no processo de atendimento no terminal portuário, caracterizado pela aquisição de um tombador adicional (em um total de quatro tombadores), com o efeito de reduzir o tempo de serviço no terminal portuário; e (iii) cenário em que são feitos investimentos que reduzem o tempo de serviço no terminal portuário a níveis observados em portos de referência em outros países (entre 80 e 100 minutos). Para cada caso supracitado, os custos de transporte foram calculados utilizando-se estimativas do preço do frete por hora, carga exportada e sua origem, número de caminhões que passaram pelo sistema no trimestre e número total de horas (viagem mais permanência no sistema). Os resultados obtidos para cada cenário são apresentados na Tabela (16) a seguir.

Tabela 16 – Sínteses dos resultados das simulações

Parâmetro	Cenário atual	Cenário com melhoria	Cenário com desempenho similar a portos de referência
Número de chegadas no trimestre (março, abril, maio) (A)	24.297	25.025	25.389
Tombadores	3,00	4,00	6,00
Investimento aquisição tombadores (1unid = R\$ 500 mil) (H)	-	500.000,00	1.500.000,00
Vagas no Pátio do Terminal	25,00	25,00	35,00
Nº médio de caminhões Pátio (final do dia)	162,85	143,59	58,14
Nº médio de caminhões Terminal (final do dia)	16,76	14,16	15,17
Nº médio de caminhões Trânsito (final do dia)	8,24	10,84	19,82
Nº médio saídas do sistema (final do dia)	79,15	106,41	185,85
Nº médio de caminhões na fila (final do dia) - Lq	171,09	154,43	77,76
Nº médio de caminhões no sistema (final do dia) - L	187,85	168,59	93,14
Tempo médio de permanência Pátio (horas)	22,44	14,89	3,04
Tempo médio de trânsito (horas)	2,56	2,56	2,57
Tempo médio de permanência Terminal (horas)	4,98	3,18	1,55
Tempo médio de espera na fila (horas) - Wq	25,00	17,46	5,62
Tempo médio de espera no sistema (horas) - W	29,98	20,64	7,17

Estimativa dos custos de transporte associados	Cenário atual	Cenário com melhoria	Cenário com desempenho similar a portos de referência
Tempo de viagem (MT-Santos, horas)	120	120	120
Tempo total (viagem + sistema, horas) (B)	150	141	127
Participação da soja nas exportações (C)	43,79%	43,79%	43,79%
Participação de Mato Grosso nas exportações (D)	53,91%	53,91%	53,91%
Custo do frete (R\$/h) (E)	73,50	73,50	73,50
Custos para o trimestre (F) = (A) x (B) x (C) x (D) x (E)	R\$ 63.237.621,79	R\$ 61.224.439,08	R\$ 55.947.531,91
Custos para o ano (G) = (F) x 4	R\$ 252.950.487,17	R\$ 244.897.756,30	R\$ 223.790.127,64
Estimativa de redução de custos anuais (comparado ao cenário atual)	-	R\$ 8.052.730,87	R\$ 29.160.359,53
Estimativa de redução de custos mensais (comparado ao cenário atual) (I)	-	R\$ 671.060,91	R\$ 2.430.029,96
Participação custos associados ao tempo no sistema (W) nos custos estimados para o ano	R\$ 50.590.097,43 (20,00%)	R\$ 36.474.133,92 (14,89%)	R\$ 12.334.888,92 (5,51%)

A partir dos dados da Tabela (16), é possível perceber como a simulação com um tombador adicional já proporciona melhoras significativas ao sistema, com o número médio de caminhões no sistema (**L**) reduzindo em quase 20 unidades e o tempo médio de espera no sistema (**W**) reduzindo quase dez horas. Entretanto, é na simulação considerando três tombadores adicionais (em um total de seis) que os resultados apresentam o maior salto de desempenho. O tempo médio de serviço (tempo de permanência no terminal portuário) mostrou-se dentro da faixa temporal observada em portos de referência fora do Brasil (inferior a 100 minutos), e o tempo de permanência no pátio também apresentou uma queda significativa (de quase 15 horas, com três tombadores, para pouco mais de três). Simulações que considerassem mais de seis tombadores provavelmente apontariam o tempo de trânsito entre o pátio regulador e o terminal portuário como a etapa com maior duração do sistema.

Ao se analisar os custos envolvidos, também é notória a melhoria com a aquisição de tombadores. Tanto com a aquisição de um tombador (Cenário com melhoria) quanto com a aquisição de três tombadores (Cenário com desempenho similar a portos de referência), os custos que deixam de ser incorridos mensalmente, item **(I)** na Tabela (16), já superam o valor dos investimentos necessários para a aquisição dos tombadores, item **(H)**. Isto sinaliza que investimentos pequenos focalizados nas restrições do sistema tem o potencial de ampliar consideravelmente a eficiência do modelo, uma vez que gargalos restringem o desempenho global do sistema, como prevê a Teoria das Restrições.

Por fim, apesar de os custos de transporte estimados ainda serem muito altos, em sua maior parte devido à escolha pelo modo de transporte rodoviário frente ao hidroviário ou ferroviário, é possível

perceber uma economia que alcança quase R\$ 30 milhões ao ano, apenas para um terminal (TEG). A base de dados original continha mais de dez terminais com movimentação de graneis sólidos vegetais no trimestre analisado, o que sinaliza uma oportunidade muito maior de redução de custos. De qualquer forma, esses valores, mesmo estimados, ajudam a entender o porquê de os custos logísticos no Brasil serem de aproximadamente 15,4% do PIB (BANCO MUNDIAL, 2012)³, o que representaria um valor global de mais de R\$ 900 bilhões, considerando-se o PIB de R\$ 5,9 trilhões em valores correntes no ano de 2015 (EBC, 2016).

6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas propostas de trabalhos futuros surgiram em função dos resultados alcançados nesta pesquisa:

- **Realização de simulações para sistemas diferentes:** neste trabalho, foram realizadas simulações para um par pátio regulador-terminal portuário para um trimestre específico (março, abril e maio) do ano de 2014. Simulações realizadas para outros pares de pátio regulador-terminal portuário e para outros conjuntos de meses gerariam resultados interessantes para se comparar com os aqui observados.
- **Realização de simulações analisando a situação para os anos de 2016 ou 2015:** a utilização de dados mais atuais pode corroborar ou não algumas suposições utilizadas neste trabalho, acerca da aquisição de tombadores e vagas disponíveis para os caminhões nos terminais portuários. Além disso, a realização de visitas *in loco* permitiria uma análise mais rigorosa sobre os procedimentos que os caminhões são submetidos desde a sua chegada ao pátio regulador até sua saída do terminal portuário. Com isso, as simulações poderiam ser realizadas com maior grau de precisão.
- **Incorporação de análises englobando as modalidades ferroviária e hidroviária:** como já mencionado neste trabalho, o modo de transporte rodoviário se configura como o mais caro para se realizar o escoamento da produção, o que faz com que os custos de transporte acumulem 9% dos 15,4% dos custos logísticos brasileiros (BANCO MUNDIAL, 2012). Para o caso dos Estados Unidos, o transporte acumula uma parcela de 5% dos custos logísticos. Os custos relacionados ao transporte de cargas a granel para distâncias acima de 750 km através de ferrovias são cerca de 40% inferiores aos custos quando o transporte é feito por rodovias; enquanto que os custos estimados para se transportar mil toneladas por hidrovias é

³ De acordo com a publicação “*Crunch Time for Brazilian Infrastructure*” (PWC, 2013), os custos logísticos no Brasil atualmente são estimados em cerca de 12% do PIB. Maiores informações podem ser encontradas em: <<https://www.pwc.com/gx/en/capital-projects-infrastructure/pdf/brazil-article.pdf>>. Acesso em 17 de junho de 2016.

cerca de R\$ 12/km, frente a R\$ 45/km por rodovias (BANCO MUNDIAL, 2012). Portanto, a inclusão de outros modos de transporte e outros custos logísticos resultaria, provavelmente, em mais propostas de melhorias no sistema atual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALLOU, R. H **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/Logística empresarial**. 5.^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2006

BANCO MUNDIAL. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/LP.LPI.OVRL.XQ>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

_____. **How to Decrease Freight Logistics Costs in Brazil**. Washington, DC, 2012.

_____. **Logistics Performance Index Report 2014**. Washington, DC, 2014.

BBC BRASIL. Disponível em: <http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/04/130423_portos_caminhoneiros_pai_jc>. Acesso em: 17 jun. 2016.

BERTO, R. M. V. S.; NAKANO, D. N. **Metodologia da pesquisa e a Engenharia de Produção** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18., 1998, Niterói. Anais... Niterói: ABEPRO, 1998.

BHAT, U. N. **An Introduction to Queueing Theory**. New York: Birkhäuser, 2008.

BLANCHARD, B. S.; FABRYCKY, W. J. **Systems Engineering and Analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 1990.

BLOG RUMO AO PORTO. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mato-grosso/blog-rumo-ao-porto/platb/2013/04/19/quilometragem-total-os-quatro-dias-de-viagem/>>. Acesso em: 17 jun 2016.

BRASIL. Casa Civil. **Decreto n 8.033**. Brasília, DF, 2013.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/outras-estatisticas-de-comercio-exterior>>. Acesso em: 17 jun 2016.

_____. Secretaria de Portos. Plano Mestre Porto de Santos. Florianópolis, SC, 2015.

CHOPRA, S. **Supply Chain Management – Strategy, Planning and Operation**. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2007.

CODESP. **Análise do Movimento Físico do Porto de Santos: Dezembro de 2015**. Santos, SP, 2016.

_____. **Análise do Movimento Físico do Porto de Santos: Abril de 2016**. Santos, SP, 2016.

_____. **Análise do Movimento Físico do Porto de Santos: Fevereiro de 2014**. Santos, SP, 2014.

_____. **Análise do Movimento Físico do Porto de Santos: Maio de 2014**. Santos, SP, 2014.

_____. **Plano de Desenvolvimento e Zoneamento do Porto de Santos**. Santos, SP, 2006.

_____. **Resolução n 136**. Santos, SP, 2013.

COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE. Disponível em: <<http://www.cepal.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/perfil/noticias/noticias/4/54974/P54974.xml&xsl=/perfil/tpl/plf.xsl&base=/perfil/tpl/top-bottom.xsl>>. Acesso em: 17 jun 2016.

COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS (CSCMP). Disponível em: < https://cscmp.org/sites/default/files/user_uploads/resources/downloads/glossary-2013.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2016.

_____. 26th Annual State of Logistics: Freight moves the economy, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2016-03/ibge-pib-fecha-2015-com-queda-de-38>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/sojaemnumeros/>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

_____. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

FARAHANI, R. Z. **Supply Chain and Logistics in National, International and Government Environment: Concepts and Models**. Berlin Heidelberg: Springer, 2009

FLIEHR, O. **Analysis of transportation and logistics processes for soybean in Brazil: a case study of selected production regions**. Thünen Working Paper 4, p.1-174, 2013.

FÓRUM ECONÔMICO MUNDIAL. **Global Competitiveness Report 2015-2016**. Switzerland, 2015.

GROSS, D.; SHORTLE, J. F.; THOMPSON, J. M.; HARRIS, C. M. **Fundamentals of Queueing Theory**. 4th ed. New Jersey: Wiley, 2008.

GUASCH, J. **Logistics as a Driver for Competitiveness in Latin America and the Caribbean**. Capital Markets and Financial Institutions Division Discussion paper, n.193, p. 1-31, 2011.

HALL, R. W. (Editor). **Handbook of Transportation Science**. 2nd ed. New York: Kluwer Academic, 2003.

HILLIER, F. S; LIEBERMAN, G. J. **Introduction to Operations Research**. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

INSTITUTO MATO-GROSSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. Disponível em: < <http://www.imea.com.br/site/cotacoes.php?produto=1&subproduto=8>>. Acesso em: 17 jun 2016.

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; SWETS, N. B. **Simulation with Arena**. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2009.

MÁRQUEZ, A. C. **Dynamic Modeling for Supply Chain Management**. London: Springer, 2010.

MIGUEL, P. A. C. (Coordenador). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro, Elsevier, 2010.

NAHMIAS, S. **Production and Operations Analysis**. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2005.

NEGRI, F.; ALVARENGA, G. V. **A Primarização da Pauta de Exportações no Brasil: Ainda um Dilema**. Radar, n. 13, p. 7-14, 2011.

NEWELL, G. F. **Applications of Queueing Theory**. 2nd ed. New York: Chapman and Hall, 1982.

PORTO DE SANTOS. Disponível em: <<http://www.portodesantos.com.br/mercado.php>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

PRATAP, R. **Getting Started With MATLAB**. New York: Oxford University Press, 2010.

RANTASILA, K., OJALA, L. **Measurement of National-Level Logistics Costs and Performance**. Discussion paper, n.4, p. 1-62, 2012

REINERTSEN, D. G. **Managing the Design Factory**. New York: The Free Press, 1997

REVISTA GLOBO RURAL. Disponível em:
<<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,EMI301533-18283,00-NO+RASTRO+DA+SOJA.html>>. Acesso em: 17 jun. 2016

RIPOLL, F. G. **Proposta de uma análise logística no agronegócio como fator competitivo para a distribuição e comercialização da soja em grão no estado de Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília, Brasília, 2010, 151p.

ROSS, S. **Simulation**. 5th ed. Amsterdam: Academic Press, 2013.

ROSSETTI, M. D. **Simulation Modeling and Arena**. 2nd ed. New Jersey: Wiley, 2015.

SITE ELOG. Disponível em: < <http://www.eloglogistica.com.br/Services/Integrated-Logistics-Management>>. Acesso em: 17 jun 2016.

SITE RODOPARK LOGÍSTICA. Disponível em: < <http://alcaldejau.wix.com/rodopark-novo#!fotos>>. Acesso em: 17 jun 2016.

THE JOURNAL OF COMMERCE. Disponível em: <http://www.joc.com/trucking-logistics/drayage/la-lb-truck-turn-times-inch_20160511.html>. Acesso em: 17 jun 2016.

WATERS, D. **Logistics – an Introduction to Supply Chain Management**. New York: Palgrave Macmillan, 2003.

WILSON, R. A. Economic Impact of Logistics. In: TAYLOR, G. D. (Editor). **Introduction to Logistics Engineering**. Florida: CRC Press, 2009.

APÊNDICES

	Pág.
Apêndice I	76
Código do Sistema de Filas Rodopark – TEG	

APÊNDICE I: Código do Sistema de Filas Rodopark – TEG

```
function Simulation_Rodopark_TEG

reps = 91; % simulação para o trimestre (março, abril e maio)
Sim_time = 86400; % simulação para 24h
Vagas_Terminal=24; % cenários com 3 e 4 tombadores
%Vagas_Terminal=34; % cenário com 6 tombadores

% determinação das cores para a geração dos gráficos
cor1 = [93 165 218] ./255;
cor2 = [241 88 84] ./255;
cor3 = [96 189 104] ./255;
cor4 = [86 169 114] ./255;
cor5 = [235 55 78] ./255;
cor7 = [250 164 58] ./255;
cor6 = [239 114 47] ./255;
cor12 = [77 77 77] ./255;
cor14 = [178 118 178] ./255;
cor13 = [222 207 63] ./255;
cor10 = [51 34 136] ./255;
cor9 = [44 62 80] ./255;
cor8 = [231 76 60] ./255;
cor11 = [241 124 176] ./255;

%----- SEÇÃO 1: INICIALIZAÇÃO E PÁTIO REGULADOR -----

for j = 1:reps

i=1;
at_Patio(1,j) = exprnd(338);
run_time(j) = at_Patio(1);
num_arrivals_P (1,j) = 1;
t_Patio = 666 + gamrnd(5.34*1000, 2.13);
dt_Patio(1,j) = at_Patio(1,j);
num_departures_P (1,j) = 1;
transit_time = 708 + gamrnd(2.77*1000, 3.07);
at_Terminal(1,j) = dt_Patio(1,j) + transit_time;
num_arrivals_T(1,j) = 1;
service_time(i,j) = 974+exprnd(160); %3 tombadores
%service_time(1,j) = 730 + exprnd(128); %4 tombadores
%service_time(1,j) = 486 + exprnd(96); %5 tombadores
%service_time(1,j) = 389 + exprnd(80); %6 tombadores
dt_Terminal (1,j) = at_Terminal(1,j) + service_time(1,j);
num_departures_T (1,j)= 1;

while run_time(j) <= Sim_time % enquanto o tempo de simulação for menor que 86.400 seg(24h)
um caminhão pode entrar no sistema
    if run_time(j) > Sim_time
        break;
    end

    if (run_time(j) < 21600) % para chegadas entre 0h e 6h
        inter_at_Patio(i,j) = exprnd(338);
        t_Patio(i,j) = 666 + gamrnd(5.34*1000, 2.13);
        inter_dt_Patio(i,j) = inter_at_Patio(i,j);

    elseif (run_time(j) < 36600) % para chegadas entre 6h e 10h
        inter_at_Patio(i,j) = exprnd(514);
        t_Patio(i,j) = 251 + gamrnd(6.16*1000, 1.68);
        inter_dt_Patio(i,j) = inter_at_Patio(i,j);

    elseif (run_time(j) < 50400) % para chegadas entre 10h e 14h
        inter_at_Patio(i,j) = exprnd(370);
        t_Patio(i,j) = 110 + exprnd(9.84*1000);
        inter_dt_Patio(i,j) = inter_at_Patio(i,j);

    elseif (run_time(j) < 64800) % para chegadas entre 14h e 18h
        inter_at_Patio(i,j) = exprnd(360);
        t_Patio(i,j) = 289 + gamrnd(6.46*1000, 1.52);
        inter_dt_Patio(i,j) = inter_at_Patio(i,j);

    else
        inter_at_Patio(i,j) = exprnd(338); % para chegadas entre 18h e 24h
        t_Patio(i,j) = 94 + gamrnd(5.24*1000, 1.90);
        inter_dt_Patio(i,j) = inter_at_Patio(i,j);

end
```

```

end

at_Patio(i+1,j) = at_Patio(i,j)+ inter_at_Patio(i,j);
num_arrivals_P (i+1,j) = i+1;

if (run_time(j) < 21600)
    t_Patio(i+1,j) = 666 + gamrnd(5.34*1000, 2.13);

elseif (run_time(j) < 36600)
    t_Patio(i+1,j) = 251 + gamrnd(6.16*1000, 1.68);

elseif (run_time(j) < 50400)
    t_Patio(i+1,j) = 110 + exprnd(9.84*1000);

elseif (run_time(j) < 64800)
    t_Patio(i+1,j) = 289 + gamrnd(6.46*1000, 1.52);

else
    t_Patio(i+1,j) = 94 + gamrnd(5.24*1000, 1.90);
end

dt_Patio(i+1,j) = at_Patio(i+1,j)+ t_Patio(i+1,j);
if (dt_Patio(i+1,j) < dt_Patio(i,j))
    dt_Patio(i+1,j) = dt_Patio(i,j)+ inter_dt_Patio(i,j); % garantir FIFO
end;

if (i < Vagas_Terminal)
    dt_Patio(i+1,j) = at_Patio (i+1,j); % para as primeiras chegadas (igual ao número
de vagas no terminal), os caminhões vão direto para o terminal
end

num_departures_P (i+1,j) = i+1;
run_time(j) = at_Patio(i+1,j);
i=i+1;

end
end;

%----- SEÇÃO 2: IDENTIFICAÇÃO DA RODADA COM MAIOR N° CHEGADAS -----

[size_arrivals1 size_arrivals2] =size(num_arrivals_P);
for j=1:reps
    count_arrivals(j)=0;
    count_departures(j)=0;

    for i=1:size_arrivals1
        if num_arrivals_P(i,j)~=0
            count_arrivals(j)=count_arrivals(j)+1; % conta o número de chegadas em cada repetição
            count_departures(j)=count_departures(j)+1;
        end;
    end;
end;

max_chegadas=max(count_arrivals); % identifica o máximo de chegadas
max_saidas=max(count_departures);

for j=1:reps
    if count_arrivals(j)==max_chegadas
        run_max_chegadas=j; % identifica a rodada em que chegaram o maior número de caminhões
    end;
end;

for j=1:reps % completa as chegadas e saídas para que todas as rodadas possuam o mesmo número
de chegadas
    if j~=run_max_chegadas
        for i=1:max_chegadas
            if (at_Patio(i,j)==0)
                for k=i:max_chegadas
                    at_Patio(k,j)=at_Patio(k-1,j)+inter_at_Patio(k-1,run_max_chegadas);
                    dt_Patio(k,j)=dt_Patio(k-1,j)+inter_dt_Patio(k-1,run_max_chegadas);
                    t_Patio(k,j)=dt_Patio(k,j)- at_Patio(k,j);
                end;
            end
        end
    end
end

end;

for j=1:reps

```

```

        for i=1:max_chegadas
            if (at_Patio(i,j)~=0)
                num_arrivals_P_ajustado(i,j)= i;
                num_departures_P_ajustado(i,j)= i;
            end
        end
    end
end

%----- SEÇÃO 3: TERMINAL PORTUÁRIO -----

for j=1:reps
    for i=1:max_chegadas-1
        if ((i-Vagas_Terminal) < 1) % corrige o tempo de saída do pátio para os primeiros 25(35)
caminhões
            if dt_Patio(i+1,j) < dt_Terminal (i,j)
                dt_Patio(i+1,j) = at_Patio (i+1,j);
            end;
        else
            aux_saida=dt_Terminal(i-Vagas_Terminal,j);
            if (aux_saida > dt_Patio(i,j))
                dt_Patio(i+1,j) = dt_Terminal (i-Vagas_Terminal,j); % libera os caminhões do
pátio de acordo com as vagas no terminal
            else
                dt_Patio(i+1,j)=dt_Patio(i,j)+inter_dt_Patio(i,j);
            end;
        end
    end

    if dt_Patio(i+1,j) < at_Patio (i+1,j)
        dt_Patio(i+1,j)=at_Patio (i+1,j);
    end

    inter_at_Terminal(i,j) = inter_dt_Patio(i,j);
    at_Terminal(i+1,j) = dt_Patio(i+1,j) + transit_time;
    service_time(i+1,j) = 974+exprnd(160); %3 tombadores
    %service_time(i+1,j) = 730 + exprnd(128); %4 tombadores
    %service_time(i+1,j) = 486 + exprnd(96); %5 tombadores
    %service_time(i+1,j) = 389 + exprnd(80); %6 tombadores

    if (at_Terminal(i+1,j)<at_Terminal(i,j))
        at_Terminal(i+1,j)=at_Terminal(i,j)+inter_at_Terminal(i,j); % garantir FIFO
    end;

    transit_time = 708 + gamrnd(2.77*1000, 3.07);
    num_arrivals_T (i+1,j)= i+1;

    dt_Terminal(i+1,j) = at_Terminal(i+1,j)+service_time(i+1,j);

    if (dt_Terminal(i+1,j)< dt_Terminal(i,j))
        dt_Terminal(i+1,j) = dt_Terminal(i,j)+ service_time(i+1,j); % garantir FIFO
    end;
    num_departures_T (i+1,j)= i+1;
    t_Patio(i,j) = dt_Patio(i,j) - at_Patio(i,j);
end
end

at_Patio_hours = at_Patio/3600;
at_Patio_hours;
dt_Patio_hours = dt_Patio/3600;
dt_Patio_hours;
at_Terminal;
dt_Terminal;

%----- SEÇÃO 4: CÁLCULO DOS TEMPOS NO SISTEMA -----

for j=1:reps
    for i=1:max_chegadas
        Tempo_Patio(i,j) = dt_Patio(i,j) - at_Patio(i,j);
        Tempo_Patio_hours(i,j) = Tempo_Patio(i,j)/3600;
        Tempo_Transito(i,j) = at_Terminal(i,j) - dt_Patio(i,j);
        Tempo_Transito_hours(i,j) = Tempo_Transito(i,j)/3600;
        Tempo_Terminal(i,j) = dt_Terminal(i,j) - at_Terminal(i,j);
        Tempo_Terminal_hours(i,j) = Tempo_Terminal(i,j)/3600;
        W(i,j) = dt_Terminal(i,j) - at_Patio(i,j);
        W_hours(i,j) = W(i,j)/3600;
        Wq(i,j) = at_Terminal(i,j) - at_Patio(i,j);
        Wq_hours(i,j) = Wq(i,j)/3600;

    end
end
end

```

```

%----- SEÇÃO 5: CÁLCULO DAS FILAS NO SISTEMA -----

arrival_p = at_Patio';
departure_p = dt_Patio';
arrival_t = at_Terminal';
departure_t = dt_Terminal';
aux_num_chegadas_p = num_arrivals_P_ajustado';

for i=1:reps
    index_arrival_p(i,:) = zeros;
    index_departure_p(i,:) = zeros;
    index_arrival_t(i,:) = zeros;
    fila_p(i,:) = zeros;
    n_transit(i,:) = zeros;
    fila_t(i,:) = zeros;
    n_saidas_t(i,:) = zeros;

    for j=1:max_chegadas
        var1 = arrival_p(i,j);
        var2 = departure_p(i,j);
        var3 = arrival_t(i,j);
        var4 = departure_t(i,j);
        var5 = arrival_t(i,1);
        n_transit(i,1) = 1;
        aux_arrival_p = 0;
        aux_departure_p = 0;
        aux_arrival_t = 0;
        aux_departure_t = 0;
        last_departure_no_arrival_t = find(departure_p(i,:)-var5 < 0, 1, 'last'); % identifica o
        último caminhão a sair do pátio sem que o primeiro a sair tenha chegado ao terminal
        last_arrival_no_arrival_t = find(arrival_p(i,:)-var5 < 0, 1, 'last'); % identifica o
        último caminhão a chegar no pátio sem que tenha ocorrido chegadas ao terminal

        aux_arrival_p = find(arrival_p(i,:) == var1); % identifica o nº do caminhão referente ao
        tempo de chegada
        index_arrival_p(i,j) = aux_arrival_p;
        aux_departure_p = find(departure_p(i,:) == var2, 1, 'last'); % identifica o nº do caminhão
        com saída mais próxima ao tempo de chegada
        index_departure_p(i,j) = aux_departure_p;
        if var1 == var2
            fila_p(i,j)=0;
        else
            aux_departure_p = find(departure_p(i,:)-var1 < 0, 1, 'last');
            index_departure_p(i,j) = aux_departure_p;
            fila_p(i,j)=index_arrival_p(i,j)- index_departure_p(i,j); % subtrai os IDs dos
            caminhões identificados acima para saber a fila no pátio regulador
        end

        if j > 1 && j <= last_departure_no_arrival_t % enquanto j for menor que o último caminhão
        que saiu do pátio sem que o primeiro tenha chegado ao terminal
            n_transit(i,j) = n_transit(i,j-1)+1;
        else if j > 1
            if departure_p(i,j) == arrival_t(i,1)
                n_transit(i,j)= last_departure_no_arrival_t;
            end

            if arrival_t(i,1) > arrival_p(i,j)
                n_transit(i,j)=aux_departure_p;
            else
                aux_arrival_t = find(arrival_t(i,:)- arrival_p(i,aux_arrival_p) < 0, 1, 'last');
                index_arrival_t(i,j) = aux_arrival_t;
                n_transit(i,j) = index_departure_p(i,j) - index_arrival_t(i,j); % subtrai as
                curvas de saídas do pátio pela de chegadas ao terminal para saber o nº em trânsito
                n_saidas_t(i,j)=aux_departure_t;
            end
        end
    end

    aux_departure_t = find(departure_t(i,:)-var1 < 0, 1, 'last'); % identifica o
    número de caminhões que haviam saído do sistema quando o caminhão com at_Patio == var1 chegou
    if departure_t(i,1) > arrival_p(i,j)
        n_saidas_t(i,j)=0;
    else
        n_saidas_t(i,j)=aux_departure_t;
    end

    fila_t(i,j) = aux_num_chegadas_p(i,j) - fila_p(i,j) - n_transit(i,j) -
    n_saidas_t(i,j); % subtrai os IDs dos caminhões identificados para saber a fila no terminal
    portuário
    L_fila(i,j) = fila_p(i,j) + n_transit(i,j); % calcula o nº caminhões na fila (pátio
    + trânsito)
end

```

```

        L_sistema(i,j) = fila_p(i,j) + n_transit(i,j) + fila_t(i,j); % calcula o n°
caminhões no sistema (pátio + trânsito + terminal)
    end
end

%----- SEÇÃO 6: CONSOLIDAÇÃO PARÂMETROS DE DESEMPENHO DO SISTEMA -----

fila_Patio = fila_p';
fila_p(:,max_chegadas);
n_transit(:,max_chegadas);
fila_t(:,max_chegadas);
n_saidas_t(:,max_chegadas);
mean_fila_Patio_final = mean(fila_p(:,max_chegadas)); % calcula o n° médio caminhões no pátio
ao final de cada rodada
mean_number_transit_final = mean(n_transit(:,max_chegadas)); % calcula o n° médio caminhões
em trânsito ao final de cada rodada
mean_fila_Terminal_final = mean(fila_t(:,max_chegadas)); % calcula o n° médio caminhões no
terminal ao final de cada rodada
mean_number_saidas_t_final = mean(n_saidas_t(:,max_chegadas)); % calcula o n° médio
caminhões que saíram do sistema ao final de cada rodada
number_transit = n_transit';
fila_Terminal = fila_t';
number_saidas_t = n_saidas_t';
Lq = L_fila';
L = L_sistema';
mean_fila_Patio = mean(fila_Patio');
mean_number_transit = mean(number_transit');
mean_fila_Terminal = mean(fila_Terminal');
mean_Lq = mean(Lq');
mean_L = mean(L');
mean_L_final = mean_fila_Patio_final+mean_number_transit_final+mean_fila_Terminal_final; %
calcula o n° médio caminhões no sistema ao final de cada rodada
mean_Lq_final = mean_fila_Patio_final+mean_number_transit_final; % calcula o n° médio
caminhões na fila ao final de cada rodada
mean_Tempo_Patio_hours = mean(Tempo_Patio_hours);
mean_Tempo_Transito_hours = mean(Tempo_Transito_hours);
mean_Tempo_Terminal_hours = mean(Tempo_Terminal_hours);
mean_W_hours = mean(W_hours);
mean_Wq_hours = mean(Wq_hours);
mean_fila_Patio = mean_fila_Patio(:);
mean_number_transit = mean_number_transit(:);
mean_fila_Terminal = mean_fila_Terminal(:);
mean_Lq = mean_Lq(:);
mean_L = mean_L(:);
mean_Tempo_Patio_hours = mean_Tempo_Patio_hours(:);
mean_Tempo_Transito_hours = mean_Tempo_Transito_hours(:);
mean_Tempo_Terminal_hours = mean_Tempo_Terminal_hours(:);
mean_W_hours = mean_W_hours(:);
mean_Wq_hours = mean_Wq_hours(:);
Total_mean_Tempo_Patio_hours = mean (mean_Tempo_Patio_hours); % calcula o tempo médio de
permanência no pátio
Total_mean_Tempo_Transito_hours = mean (mean_Tempo_Transito_hours); % calcula o tempo médio
de trânsito
Total_mean_Tempo_Terminal_hours = mean (mean_Tempo_Terminal_hours); %calcula o tempo médio
de permanência no terminal
Total_mean_Wq_hours = mean (mean_Wq_hours); % calcula o tempo médio de permanência na fila
(pátio + trânsito)
Total_mean_W_hours = mean (mean_W_hours); % calcula o tempo médio de permanência no sistema
(pátio + trânsito + terminal)

for j=1:reps
    total_run_time(j) = dt_Terminal(max_chegadas,j) - at_Patio(1,j);
    total_run_time_hours(j) = total_run_time(j)/3600;
end

%----- SEÇÃO 7: GRÁFICOS -----

at_Patio_medio=mean(at_Patio');
at_Patio_medio = at_Patio_medio';
[size1 size2]=size(at_Patio_medio);
dt_Patio_medio=mean(dt_Patio');
[size3 size4]=size(dt_Patio_medio);
at_Terminal_medio = mean(at_Terminal');
dt_Terminal_medio = mean(dt_Terminal');

t_Patio_hours = t_Patio/3600;
t_Patio_hours;
mean_time=1:max_chegadas;

% Gráfico para o número médio de caminhões no pátio, trânsito e terminal

```



```

plot(at_Patio_medio, mean_fila_Patio, 'color', cor12, 'linewidth', 1.2)
hold on;
plot (at_Patio_medio, mean_number_transit, 'color', cor13, 'linewidth', 1.2)
plot (at_Patio_medio, mean_fila_Terminal, 'color', cor14, 'linewidth', 1.2)
hold off;

% Gráfico para o número médio de caminhões na fila e no sistema
plot(at_Patio_medio, mean_L, 'color', cor10, 'linewidth', 1.2)
hold on;
plot(at_Patio_medio, mean_Lq, 'color', cor11, 'linewidth', 1.2)
hold off;

% Gráfico para o tempo médio de permanência em horas no pátio, trânsito e terminal
plot (mean_Tempo_Patio_hours, 'color', cor5, 'linewidth', 1.2);
hold on;
plot (mean_Tempo_Transito_hours, 'color', cor4, 'linewidth', 1.2);
plot (mean_Tempo_Terminal_hours, 'color', cor6, 'linewidth', 1.2);
hold off;

% Gráfico para o tempo médio de permanência em horas na fila e no sistema
plot (mean_Wq_hours, 'color', cor9, 'linewidth', 1.2);
hold on;
plot (mean_W_hours, 'color', cor8, 'linewidth', 1.2);
hold off;

% Gráfico para gerar o diagrama de chegadas e saídas acumuladas para cada rodada
%plot (at_Patio,num_arrivals_P_ajustado, 'color', cor1, 'linewidth', 1.2)
%hold on;
%plot (dt_Patio,num_departures_P_ajustado, 'color', cor2, 'linewidth', 1.2)
%plot (at_Terminal, mean_time, 'color', verde, 'linewidth', 1.2);
%plot (dt_Terminal, mean_time, 'color', cor7, 'linewidth', 1.2),
%hold off;

% Gráfico para gerar o diagrama de chegadas e saídas acumuladas (média para todas as rodadas)
plot (at_Patio_medio, mean_time, 'color', cor1, 'linewidth', 1.2)
hold on
plot (dt_Patio_medio,mean_time, 'color', cor2, 'linewidth', 1.2)
plot (at_Terminal_medio, mean_time, 'color', cor3, 'linewidth', 1.2)
plot (dt_Terminal_medio, mean_time, 'color', cor7, 'linewidth', 1.2)
hold off

end

```